

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH MAKAN MENGUNAKAN MEMBRAN NANOFILTRASI ZEOLIT ALIRAN *CROSS-FLOW* UNTUK FILTRASI KEKERUHAN, MINYAK DAN LEMAK

Nama mahasiswa : Risyda Zulfiyatush Sholihah
NRP : 3310100702
Pembimbing : Alia Damayanti, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRAK

Perkembangan bisnis makanan terutama rumah makan memiliki dampak yang merugikan terhadap lingkungan, yang disebabkan oleh pembuangan limbah cair rumah makan tanpa diolah terlebih dahulu. Limbah cair rumah makan yang tidak diolah menyebabkan penyumbatan pipa saluran air limbah dan meningkatkan beban pengolahan pada instalasi pengolahan air limbah. Salah satu alternatif pengolahan air limbah yang potensial adalah menggunakan membran nanofiltrasi dengan ukuran pori sebesar 0,001 μm sehingga dapat menyaring air limbah dengan kadar organik yang cukup tinggi. Bahan baku membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam, sehingga dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh massa zeolit terbaik dalam pembuatan membran nanofiltrasi, memperoleh nilai rejeksi dan nilai fluks membran pada variasi massa zeolit dan konsentrasi air limbah.

Penelitian ini dimulai dengan menyiapkan zeolit alam sebagai bahan baku membran kemudian disintesis sehingga didapatkan kandungan zeolit murni. Selanjutnya, membran dibuat dari zeolit yang sudah disintesis dan dianalisis morfologinya dengan menggunakan SEM-EDX. Pengujian membran menggunakan reaktor cross-flow. Dalam pengujian ini akan didapatkan nilai fluks dan nilai rejeksi dari masing-masing variasi massa zeolit dan konsentrasi limbah. Variasi konsentrasi limbah adalah campuran limbah dengan air PDAM sebesar 100%, 75% :

25% dan 50% : 50%. Variasi massa zeolit yang digunakan adalah 3 gram dan 6 gram.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa massa zeolit terbaik untuk membran nanofiltrasi zeolit adalah 6 gram. Nilai fluks tertinggi pada variasi konsentrasi limbah 100% adalah $7,64 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}^{-1}$. Pada variasi konsentrasi 75%, nilai fluks yang tertinggi yakni sebesar $11,89 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}^{-1}$, sedangkan pada variasi konsentrasi limbah 50% sebesar $13,59 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}^{-1}$. Nilai fluks tertinggi pada variasi massa zeolit 3 gram adalah $13,59 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}^{-1}$, sedangkan pada variasi massa zeolite 6 gram adalah $12,74 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}^{-1}$. Nilai rejeksi tertinggi kekeruhan pada variasi konsentrasi limbah 100% adalah 88,84%. Pada variasi konsentrasi 75%, nilai rejeksi kekeruhan yang tertinggi adalah 70,00%, sedangkan pada variasi konsentrasi limbah 50% adalah 77,50%. Pada variasi massa zeolit 3 gram, nilai rejeksi kekeruhan yang tertinggi adalah 83,26%, sedangkan pada variasi massa zeolit 6 gram adalah 88,84%. Nilai rejeksi tertinggi minyak dan lemak pada variasi konsentrasi limbah 100% adalah 91,22%. Pada variasi konsentrasi limbah 75%, nilai rejeksi minyak dan lemak tertinggi sebesar 84,44%, sedangkan pada variasi konsentrasi 50% adalah 77,18%. Pada variasi massa zeolit 3 gram, nilai rejeksi minyak dan lemak tertinggi yaitu sebesar 85,40%, sedangkan pada variasi massa zeolit 6 gram sebesar 91,22%.

Kata kunci: Limbah Cair Rumah Makan, Nilai Rejeksi, Nilai Fluks, Kekeruhan, Minyak dan Lemak

RESTAURANT WASTEWATER TREATMENT BY USING CROSS-FLOW ZEOLITE NANOFILTRATION MEMBRANE WITH FILTRATION OF TURBIDITY, OIL AND GREASE

Name : Risyda Zulfiyatush Sholihah
NRP : 3310100702
Supervisor : Alia Damayanti, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRACT

The development of food business, especially restaurants have harm impacts for environment, which caused by wasting untreated wastewater. Restaurant wastewater affected blockage of sewages pipes and increase the processing load on the wastewater treatment plant. One of the potential alternatives for wastewater treatment is nanofiltration membranes with pore size of 0,001 μm which could filter wastewater with high organic content. The material which used in this case is natural zeolite. Thus, this study aims to obtain the optimum mass of zeolite in the production of nanofiltration membranes, obtaining the value of rejection and flux from zeolite membranes on mass variations and waste water concentrations.

This study was begun by setting up of natural zeolite as a membrane material and then synthesized to obtain pure zeolite. Subsequently, membranes made by synthesized zeolite then analyzed its the morphology used SEM-EDX. Membrane testing used a cross-flow reactor. In this test, the variation of each zeolite mass and wastewater concentration influenced both of flux and rejection value. Variation of concentration that used were pure wastewater which mixed with water in ratio 100%, 75% : 25% and 50% : 50%.

Mass variation zeolite that used were 3 grams and 6 grams. The results showed that the best mass of zeolite for zeolite

nanofiltration membranes was 6 grams. The highest flux value was reached 7,64 L/m².hour⁻¹ for 100% concentration, 11,89 L/m².hour⁻¹ for 75% concentration and 13,59 L/m².hour⁻¹ for 50% concentration. The highest value was reached 13,59 L/m².hour⁻¹ in 3 grams and 12,74 L/m².hour⁻¹ in 6 grams. The highest rejection value for turbidity was reached 88,84% for 100% concentration, 70,00% for 75% concentration and 77,50% for 50% concentration. The highest rejection value for turbidity was reach 83,26% for 3 grams and 88,84% for 6 grams. The highest rejection value for oil and grease was reached 91,22% for 100% concentration, 84,44% for 75% concentration, and 77,18% for 50% concentration. The highest rejection value was reached 85,40% for 3 grams and 91,22% for 6 grams.

Keywords: Restaurant Wastewater, Rejection Value, Flux Value, Turbidity, Oil and Grease

LEMBAR PENGESAHAN

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH MENGUNAKAN MEMBRAN NANOFILTRASI ZEOLIT ALIRAN *CROSS-FLOW* UNTUK FILTRASI KEKERUHAN, MINYAK DAN LEMAK

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana**

Pada

**Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**RISYDA ZULFIYATUSH SHOLIAH
NRP. 3310 100 702**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



**Alia Damayanti, ST.,MT.,Ph.D
NIP. 197702092003122001**

SURABAYA, AGUSTUS 2014



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Limbah Rumah Makan

Limbah cair rumah makan dihasilkan oleh aktivitas rumah makan terutama aktivitas dapur yang meliputi pencucian peralatan, pencucian bahan makanan dan limbah cair sisa makanan. Hal ini mengakibatkan limbah cair rumah makan kaya akan zat organik terutama minyak dan lemak. Pada pengelolaan limbah cair rumah makan, sebagian besar limbah cair rumah makan akan dibuang langsung ke badan air atau pada saluran drainase yang dikarenakan tidak adanya instalasi pengolahan limbah cair. Pembuangan limbah cair rumah makan tersebut akan menyebabkan banyak masalah sanitasi dan beban pencemaran yang lebih berat.

Karakteristik limbah rumah makan bermacam-macam tergantung dengan kegiatan dalam rumah makan tersebut. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat karakteristik limbah rumah makan yang akan dibandingkan dengan baku mutu limbah cair yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa parameter limbah rumah makan yaitu COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD₅ (*Biological Oxygen Demand*), minyak dan lemak serta SS (*Suspended Solid*) melebihi baku mutu yang berlaku kecuali pada parameter pH. Parameter pH untuk limbah rumah makan Cina, rumah makan Barat, rumah makan siap saji Amerika dan kantin kampus berkisar antara 6,30-9,47 yang masih memenuhi baku mutu baik itu pada peraturan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 maupun pada Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 45 Tahun 2002 yaitu 6-9. Kandungan COD dan BOD₅ yang paling tinggi terdapat pada limbah Rumah Makan Siap Saji Amerika, sedangkan kandungan minyak lemak dan SS yang paling tinggi terdapat pada limbah kantin kampus.

Tabel 2.1 Karakteristik Air Limbah Rumah Makan

No	Parameter	Rumah Makan Cina ¹ (mg/l)	Rumah Makan Barat ¹ (mg/l)	Rumah Makan Siap Saji Amerika ¹ (mg/l)	Kantin Kampus ¹ (mg/l)	Baku Mutu ² (mg/l)	Baku Mutu ³ (mg/l)			
							Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4
1	pH	6,62 – 7,96	6,94 – 9,47	6,30 – 7,23	6,82 – 8,76	6 – 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
2	COD	292 – 3390	912 – 3500	980 – 4240	900 – 3250	-	80	100	300	600
3	BOD ₅	58 – 1430	489 – 1410	405 – 2240	545 – 1630	100	30	50	150	300
4	Minyak dan Lemak	120 – 172	52,6 – 2100	158 – 799	415 – 1970	100	1	5	15	20
5	SS	13,2 – 246	152 – 545	68 – 345	124 - 1320	10	100	200	200	500

¹ Chen, *et al.*, (2000)

² Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Limbah Domestik

³ Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 45 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur

TSS (*Total Suspended Solid*), minyak dan lemak merupakan karakteristik limbah rumah makan yang utama dan merupakan faktor utama dalam penurunan kualitas air, dan juga menimbulkan masalah lingkungan yang cukup serius (Sein, 2011). TSS merupakan massa (mg) atau konsentrasi (mg/l) dari bahan organik maupun inorganik yang menggumpal di sungai, saluran, danau ataupun reservoir dikarenakan adanya turbulensi (Bilotta dan Brazier, 2008). Adanya SS (*suspended solid*) menyebabkan permasalahan estetika pada badan air dan degradasi lingkungan air. Umumnya, padatan tersuspensi (*suspended solid*) dan kekeruhan (*turbidity*) memiliki korelasi yang positif, yaitu semakin tinggi nilai padatan tersuspensi maka semakin tinggi pula nilai kekeruhan (Akbar, 2010).

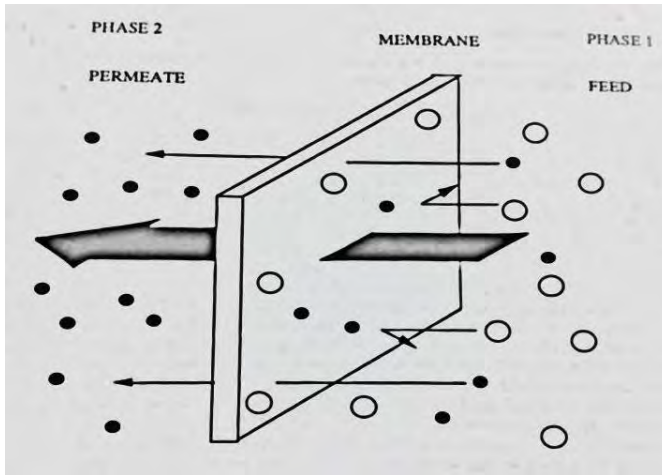
Minyak dan lemak merupakan kandungan tipikal dari air limbah dapur maupun rumah makan. Zat ini cenderung menggumpal dan menyumbat saluran air. Minyak dan lemak dalam air limbah merupakan trigliserida yang terdiri dari rantai asam lemak, sebagaimana ester dalam gliserol (Matsui *et al.*, 2005). Minyak dan lemak merupakan salah satu golongan lipid, yaitu senyawa organik yang terdapat di alam serta tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut tertentu. Minyak dan lemak merupakan senyawaan trigliserida atau trigliserol, yang juga merupakan senyawaan ester (Herlina dan Ginting, 2002).

Menurut Jefferson (2004), telah banyak metode yang dikembangkan untuk pengolahan air limbah, termasuk dengan menggunakan pengolahan secara fisik, kimia dan biologi. Pemilihan metode dalam pengolahan limbah cair rumah makan yang tepat perlu memperhatikan beberapa faktor seperti skala operasi, biaya, faktor sosial ekonomi yang berkaitan dengan masalah biaya pembuatan instalasi maupun operasional.

2.2 Pengertian Membran

Membran dapat didefinisikan sebagai lapisan film tipis yang memisahkan dua fasa dan berfungsi sebagai penghalang

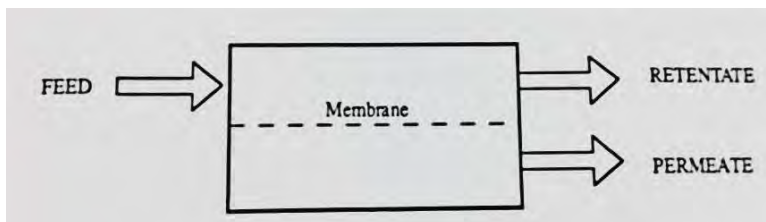
(*barrier*) yang selektif. Proses yang terjadi pada suatu membran dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Permselective membran (Mallevalle *et al.*, 1996)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa membran dapat memisahkan dua fasa tertentu. Membran tersebut merupakan lapisan yang selektif karena dapat menahan ataupun meloloskan partikel tertentu.

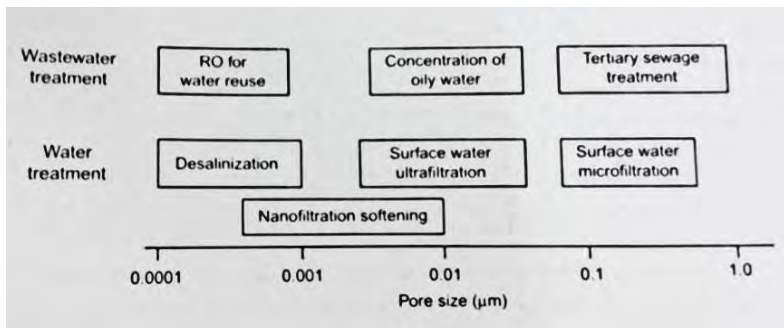
Prinsip operasional pada suatu membran ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Prinsip Operasional pada Membran (Mallevalle *et al.*, 1996)

Larutan yang mengandung komponen yang tertahan disebut konsentrat (*feed*) dan larutan yang mengalir disebut *permeate* atau filtrat dan prosesnya secara umum disebut sebagai penyaringan atau filtrasi (Mallevalle *et al.*, 1996).

Membran tidak didefinisikan sebagai material yang pasif namun sebagai material yang fungsional. Hal ini menyebabkan meskipun membran dikarakteristik berdasarkan strukturnya, kemampuan fluks dan selektivitas sangat tergantung pada kandungan elemen pada kedua fasa dan *driving force* yang diaplikasikan. Hal ini menyebabkan membran diklasifikasikan berdasarkan kemampuan pemisahan daripada strukturnya (Mallevalle *et al.*, 1996). Membran seringkali digunakan pada pengolahan lanjutan air minum maupun air limbah sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Prinsip aplikasi membran filtrasi pada pengolahan air minum dan air limbah berdasarkan ukuran pori (Gray, 2010)

Filtrasi membran, selain berfungsi sebagai sarana pemisahan juga berfungsi sebagai sarana pemurnian suatu larutan. Teknologi membran memiliki beberapa keunggulan tertentu jika dibandingkan dengan proses lain, yaitu:

- a. Penggunaan membran dalam aplikasi dapat dilakukan secara kontinyu, sehingga membutuhkan energi yang relatif lebih rendah.
- b. Proses membran dapat mudah digabungkan dengan proses pemisahan lainnya.
- c. Pemisahan dapat dilakukan dalam kondisi yang mudah dikondisikan.
- d. Mudah dalam memperbesar skala pemisahan (*scale up*).
- e. Tidak perlu adanya bahan tambahan.
- f. Material membran bervariasi sehingga mudah diadaptasikan pemakaiannya (Agustina, 2008).

2.3 Klasifikasi Membran

Membran dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria antara lain, berdasarkan mekanisme pemisahan, morfologi dan sifat kimianya (Mallevalle *et al.*, 1996).

2.3.1 Klasifikasi Membran Berdasarkan Mekanisme Pemisahan

Klasifikasi membran berdasarkan pada mekanisme pemisahan dibagi menjadi tiga kelas: membran *porous* (penyaringan), membran *nonporous* (mekanisme *solution-diffusion*) dan membran *ion-exchange* (elektrokimia).

a. Membran *Porous*

Pada membran *porous*, penetapan pori didefinisikan berdasarkan ukuran pori yang diambil oleh IUPAC (1985), yaitu:

- *Macroporous* dengan ukuran pori lebih besar dari 50 nm.
- *Mesoporous* dengan ukuran pori diantara 2-50 nm.
- *Microporous* dengan ukuran pori lebih kecil 2 nm.

MF (mikrofiltrasi), UF (Ultrafiltrasi), NF (Nanofiltrasi) merupakan membran *porous*. Namun, membran mikrofiltrasi terdiri dari *macropores* dan nanofiltrasi terdiri dari *micropores*, sehingga NF diklasifikasikan pada kelas

intermediate antara membran *porous* dan *nonporous*, ketika membran *solution-diffusion* ataupun elektrokimia dikenalkan pada persamaan transfer massa.

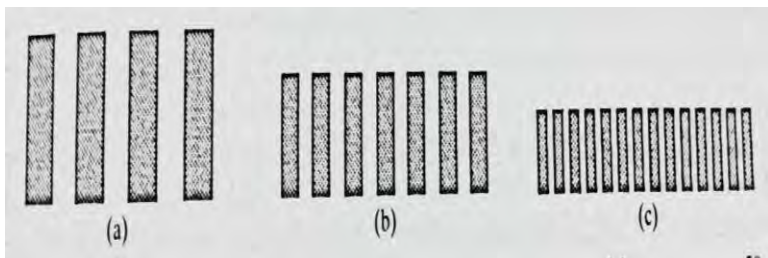
b. Membran Nonporous

Membran ini dapat dianggap sebagai media yang padat. Jenis difusi akan mengambil volume yang kosong yang ada antara rantai makromolekular material membran.

c. Membran Ion-Exchange

Membran ini merupakan tipe spesifik dari membran *nonporous*. Membran ini terdiri dari gel-gel gelembung yang membawa muatan positif tetap atau negatif tetap. Contoh yang bermuatan positif tetap adalah $-NR^{3+}$, yang disebut sebagai membran penukar anion. Sedangkan membran penukar kation mempunyai muatan negatif tetap (seperti $-SO^3$).

Gambar 2.4 merupakan skema membran isotropik berpori berdasarkan ukuran pori.



Gambar 2.4 Skema membran isotropik berpori (a). *macropores* >50 nm; (b) $2 < \text{mesopores} < 50$ nm; (c) *micropores* < 2 nm (Mallevialle *et al.*, 1996)

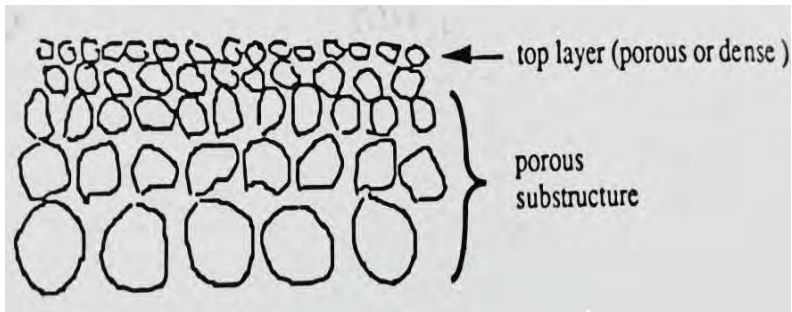
2.3.2 Klasifikasi Membran Berdasarkan Morfologi

Dalam pengaturan tekanan saat pengoperasian membran, *flux permeate* berbanding terbalik dengan ketebalan membran. Hal ini menyebabkan adanya membran anisotropik untuk aplikasi

industri. Membran tersebut terdiri dari lapisan atas yang sangat tipis, yang disebut *skin*, yang disangga oleh lapisan yang lebih tebal dan berpori. *Skin* merupakan fungsi utama pada membran dikarenakan nilai *flux* keseluruhan dan selektivitas hanya tergantung pada struktur *skin*. Ketebalannya diantara 0,1 sampai 0,5 μm , kira-kira 1% dari ketebalan lapisan berpori. Hambatan lapisan penyangga terhadap nilai transfer massa dapat diabaikan dan adanya lapisan penyangga ini hanya untuk membantu proses mekanis. Desain membran seperti ini biasanya terbuat dari material yang berpori. Material pembawa membentuk bagian membran yang utuh, sehingga menambah kekuatan mekanis pada membran. Membran anisotropik dibedakan menjadi dua yaitu membran asimetrik dan membran komposit.

a. Membran Asimetrik

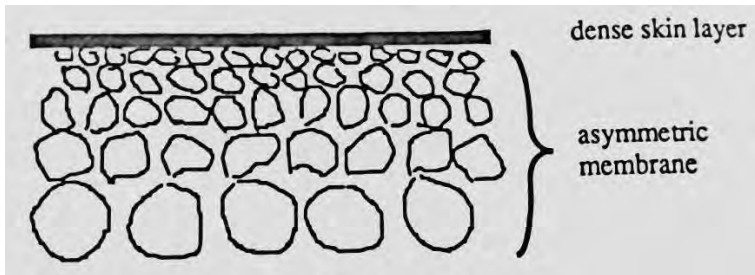
Pada Gambar 2.5 dapat dilihat skema membran anisotropik yang terbuat dari bahan yang sama



Gambar 2.5 Skema membran asimetrik (Mallevialle *et al.*, 1996)

b. Membran Komposit

Membran ini merupakan membran anisotropik dimana lapisan atas dan lapisan lainnya terbuat dari material yang berbeda. Umumnya, lapisan yang berpori ini merupakan membran asimetrik. Skema membran komposit dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema membran komposit (Mallevalle *et al.*, 1996)

2.3.3 Klasifikasi Membran Berdasarkan Geometri

Membran dapat dibedakan berdasarkan geometrinya yaitu flat dan silinder. Berikut ini tipe membran silinder:

- Membran *tubular* dengan diameter internal lebih besar dari dari 3 mm.
- Membran *hollow-fiber* yang berlubang dengan diameter lebih kecil dari 3 mm.

Membran *hollow fiber* merupakan membran terkecil yang berbentuk pipa yang tersedia saat ini, dengan diameter luar diantara 80 sampai dengan 500 μm . Diameter yang lebih besar digunakan pada membran UF dan MF, yang juga disebut sebagai membran kapiler.

2.3.4 Klasifikasi Membran Berdasarkan Sifat Kimia

Membran sintetis dapat diproduksi dalam jumlah yang besar dari berbagai material seperti material organik (polimer) dan material inorganik (logam, keramik, kaca dan lain sebagainya).

a. Membran Organik

Semua bahan polimer dapat digunakan sebagai bahan baku membran, namun hanya beberapa bahan yang memenuhi syarat sebagai kebutuhan proses dan usia membran. Bahan yang digunakan secara luas adalah selulosa dan sejenisnya.

Polimer hidrofilik digunakan karena sangat murah, kemampuan adsorpsi yang rendah, dan digunakan tidak hanya pada proses *pressure-driven* namun juga pada hemodialisis dan penyebaran udara. Pada pengolahan air, membran ester selulosa (di dan triacetat) memiliki keuntungan dalam ketahanannya pada klorin, meskipun cenderung sensitif terhadap asam dan hidrolisis alkali, suhu dan degradasi biologis. Secara luas, membran ini digunakan untuk desalinasi, *softening* (pelunakan air) dan desinfeksi.

Kelas membran polimer hidrofilik yang lainnya adalah polyamides. Polyamides aromatik digunakan pada desalinasi dikarenakan sifat *permselective* dan ketahanan terhadap suhu, bahan kimia yang lebih baik, dan memiliki kestabilan hidrolitik yang lebih baik jika dibandingkan dengan ester selulosa. Kelompok amida (-CO-NH-) memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap degradasi oksidatif dan tidak tahan terhadap klorin sedikitpun. Polyacrylonitrile (PAN) juga umum digunakan untuk membran ultrafiltrasi dan hemodialisis. Kemampuan hidrofiliknya lebih kecil daripada dua polimer sebelumnya dan tidak memiliki sifat *permselective* dan tidak digunakan pada RO (*Reverse Osmosis*).

Polimer lain yang sering digunakan secara luas adalah polysulphone (PSf) dan polyethersulphone (PES). Polimer ini tidak bersifat hidrofilik dan memiliki ketahanan terhadap adsorpsi yang tinggi, namun mereka memiliki stabilitas yang baik terhadap bahan kimia, mekanikal, dan suhu. Umumnya, bahan ini digunakan pada membran UF, sebagai penyangga membran komposit, ataupun sebagai membran hemodialisis. Sebagian besar membran PES dan PSf dimodifikasi dengan memadukan polimer hidrofilik untuk membuat membran yang bersifat *antifouling* yang lebih baik.

Dikarenakan stabilitas yang baik terhadap bahan kimia dan suhu, polimer hidrofobik sering digunakan sebagai membran *macroporous*; polytetrafluoroethylene (PTFE), polyvinylidene

fluoride (PVDF), polyethylene (PE), polycarbonate (PC) atau isotatic polypropylene (PP). Pada pengolahan air, PP merupakan bahan yang sering digunakan untuk membran mikrofiltration meskipun sangat sensitif terhadap klorin.

b. Membran Inorganik

Material inorganik umumnya merupakan bahan yang paling tinggi stabilitasnya terhadap bahan kimia, mekanikal dan suhu daripada material polimer. Namun, material ini mempunyai kerugian yaitu mudah rapuh dan mahal dibandingkan membran organik. Membran keramik dapat mewakili kelas membran inorganik. Keramik merupakan bentuk oksida, nitrid atau karbit dari senyawa logam seperti aluminium, zirconium atau titanium.

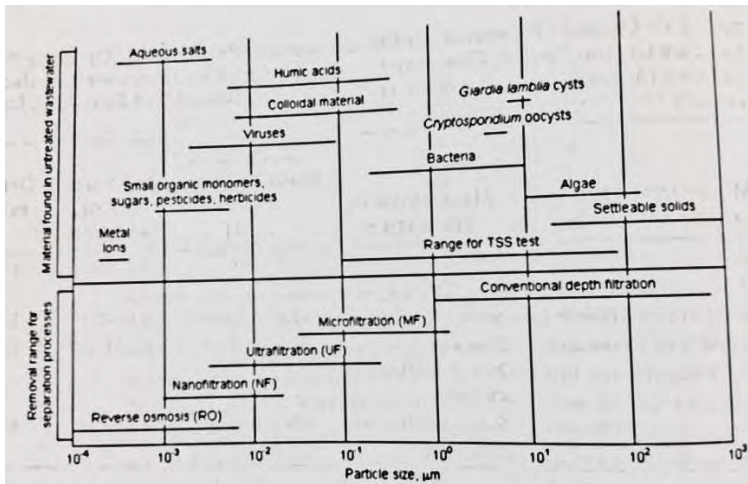
Mekanisme removal polutan, *driving force*, tekanan operasional dan ukuran pori pada setiap membran berbeda, hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Umum Membran

Jenis membran	<i>Driving Force</i>	Mekanisme Pemisahan	Ukuran pori (microns)	Tekanan operasional (psi)
MF	Tekanan atau vakum	Penyaringan	0,1 – 10	1 – 30
UF	Tekanan	Penyaringan	0,01 – 0,1	3 – 80
NF/RO tekanan rendah	Tekanan	Penyaringan + solution/diffusion + exclusion	0,001 – 0,01	70 – 220
RO	Tekanan	solution/diffusion + exclusion	< 0,001	800 – 1200

Sumber: Stephenson *et al.*, 2010

Perbandingan empat tipe proses pemisahan membran dengan kedalaman filtrasi konvensional dan menunjukkan polutan tipikal yang dihilangkan dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Perbandingan Proses Membran Filtrasi (WEF, 2006)

Gambar 2.7 menunjukkan bahwa,

- Mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi tidak dapat menghilangkan ion atau padatan terlarut.
- Mikrofiltrasi dapat menghilangkan bakteri dan mikroorganisme patogen.
- Ultrafiltrasi dapat menghilangkan virus.
- *Reverse osmosis* menghilangkan sebagian besar padatan, termasuk garam terlarut dan ion logam (WEF, 2006).

2.4 Membran Nanofiltrasi

Membran nanofiltrasi (NF) merupakan membran yang prosesnya juga dapat dengan menggunakan *pressure-driven* yang menyebabkan membran ini dapat menyaring secara fisik maupun dengan mekanisme transpor difusi. Dasar dari teori ini adalah pengembangan terhadap penelitian lapisan tipis membran non selulosa. Dibandingkan dengan RO (Reverse Osmosis), NF dioperasikan dengan tekanan yang jauh lebih rendah, namun *flow rate permeate* yang dihasilkan lebih tinggi. Meskipun kualitas

permeate NF tidak sama dengan RO, membran NF dapat mengatasi kekurangan UF (Ultrafiltrasi). Membran NF mempunyai rejeksi terhadap Ca^{2+} dan Mg^{2+} dan divalen. Ukuran partikel NF adalah $0,0005 - 0,005 \mu\text{m}$. Penggunaan membran NF biasanya digunakan sebagai penghilang warna, *Total Organic Carbon* (TOC), *humic acid* dan molekul organik (Gray, 2010).

Membran NF disebut sebagai *low pressure reverse osmosis* atau *membrane softening*, dimana selektivitasnya diantara membran reverse osmosis dan membran ultrafiltrasi. Membran ini didesain sebagai membran untuk menghilangkan ion multivalent (kalsium dan magnesium) pada proses pelunakan air. Namun, baru-baru ini NF juga digunakan sebagai kontrol organik. Membran NF sedikit merejeksi ion monovalen sehingga *osmotic backpressure* yang dibutuhkan sangat kecil dibandingkan RO. Tekanan operasi yang dibutuhkan oleh NF jauh lebih besar daripada RO (tipikal 0,5 sampai dengan 1,5 Mpa) (Mallevialle *et al.*, 1996).

Membran nanofiltrasi merupakan membran yang dapat menghilangkan semua padatan, termasuk garam terlarut dan ion logam. NF merupakan membran dimana mekanisme pengoperasiannya terdiri dari penyaringan secara fisik maupun *solution/diffusion* dan *exclusion*. *Molecular weight cutoff* pada 300 - 1000 Da dengan ukuran pori $0,001 - 0,01$ mikrons. Tekanan operasi yang dibutuhkan adalah 70 – 220 Psi (482,3 – 1515,8 kPa) (Stephenson *et al.*, 2010).

2.5 Permeabilitas dan Selektivitas Membran

Permeabilitas suatu membran merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi untuk menembus membran, secara kuantitatif, permeabilitas membran dinyatakan dalam bentuk fluks. Fluks didefinisikan sebagai volume *permeate* yang melewati satuan luas permukaan membran. Sementara fluks menurut Mulder (1996), merupakan jumlah volume *permeate* yang melewati satu satuan permukaan luas membran dengan waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan.

Keberhasilan penggunaan dari aplikasi membran tergantung pada pemilihan bahan utama pembuatan membran. Idealnya membran yang baik harus memiliki fluks *permeate* yang tinggi, penolakan terhadap kontaminan yang tinggi, daya tahan membran, ketahanan kimia yang baik, serta dapat dibuat dan dioperasikan dengan biaya rendah (Chellam dan Wiesner, 1999).

Fluks membran merupakan salah satu faktor utama dalam performa membran. Fluks menjadi parameter penting dalam penentuan kinerja membran, berperan penting dalam menentukan biaya *maintenance* dan operasional secara keseluruhan. Secara umum fluks dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$J = \frac{V}{A.t} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- J = Fluks ($L/m^2.jam$)
- V = Volume *permeate* (L)
- A = Luas permukaan membran (m^2)
- t = Waktu (jam)

Menurut Hapsari (2000), selektivitas membran adalah ukuran kemampuan membran menahan atau melewatkan suatu spesi tertentu. Parameter yang digunakan untuk menyatakan selektivitas adalah nilai rejeksi. Nilai rejeksi adalah rasio antara beda konsentrasi melalui membran dengan konsentrasi melalui membran dengan konsentrasi *feed* (fraksi konsentrasi zat terlarut yang tertahan oleh membran).

Persamaan untuk menentukan nilai rejeksi berdasarkan Mulder (1996) sebagai berikut:

$$R\% = \left(1 - \left(\frac{c_p}{c_f} \right) \right) \times 100 \quad (2.2)$$

Keterangan:

R = Nilai rejeksi (%)

C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam *permeate*

C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam umpan

Dengan harga R berkisar antara 0 sampai dengan 1. Jika harga R=1 berarti zat kontaminan ditahan oleh membran secara sempurna. Penentuan nilai rejeksi membran berkaitan dengan porositas membran. Porositas merupakan perbandingan ukuran pori dengan luas membran. Semakin kecil ukuran membran, maka porositas yang dihasilkan semakin tinggi dan sebaliknya. Jika rejeksi membran menunjukkan 100% berarti membran mengalami rejeksi sempurna dan sebaliknya, jika nilainya 0%, menunjukkan larutan dan zat terlarut melewati membran dengan bebas.

Menurut Milisic (1996), untuk mengurangi penumpukan materi pada permukaan membran, ada dua cara yang dapat diambil, yaitu:

- a. Menjaga partikel mengenai membran.
- b. Membersihkan membran tersebut.

2.6 Teknik Pembuatan Membran

Teknik pembuatan membran diperlukan untuk memodifikasi material anorganik yang akan digunakan dalam pembuatan membran seperti logam, keramik, gelas atau organik yang mencakup semua polimer. Tujuan teknik pembuatan membran adalah menemukan teknik yang sesuai untuk material pembuat membran, sehingga dapat diperoleh struktur membran dan morfologi membran (Pratama, 2010).

Sejumlah teknik yang berbeda dapat digunakan untuk pembuatan membran sintetis baik itu membran polimer organik maupun polimer anorganik. Teknik yang cukup penting dalam pembuatan membran adalah *sintering*, *stretching*, *track-etching*, *template-leaching*, inversi fasa dan *coating* (Mulder, 1996).

Sintering

Pada teknik *sintering*, serbuk dengan ukuran tertentu dikompresi dan di-*sintering* pada suhu tinggi. Pori akan terbentuk ketika batas antar permukaan partikel hilang. Teknik ini akan menghasilkan membran dengan ukuran pori 0,1 sampai 10 μm .

Stretching

Pembuatan membran dengan teknik *stretching* dilakukan untuk bahan polimer yang semikristalin. Film dari bahan polimer semi kristalin ditarik searah dengan proses ekstraksi. Ketika *tress* mekanik dilakukan, maka akan terjadi sedikit pemutusan dan terbentuk struktur pori dengan ukuran 0,1 sampai 0,3 μm .

Track-etching

Pada teknik *track-etching*, film polimer ditembak oleh partikel radiasi berenergi tinggi dengan arah tegak lurus film. Bekas tembakan partikel tersebut akan membentuk suatu lintasan pada film sehingga terbentuk pori silinder yang sangat sempit. Film tersebut kemudian direndam di dalam bak yang berisi asam atau basa. Teknik ini menghasilkan membran dengan ukuran pori sekitar 0,02-10 μm .

Template-leaching

Teknik ini digunakan untuk membuat membran berpori dengan cara *leaching-out* salah satu komponen dalam film. Proses dilakukan dengan cara mendinginkan lelehan homogen (suhu 1000-1500°C) tiga komponen (misal $\text{Na}_2\text{-O-B}_2\text{O}_2\text{-SiO}_2$), akibatnya sistem akan terpisah menjadi dua fasa. Fasa yang pertama didominasi oleh SiO_2 yang tidak terlarut, sedangkan fasa yang lain larut. Fasa yang kedua di-*leaching* menggunakan asam atau basa. Membran yang dihasilkan memiliki rentang diameter pori yang luas dengan ukuran minimum sekitar 0,005 μm .

Inversi fasa (phase inversion)

Inversi fasa adalah suatu proses pengubahan bentuk polimer dan fasa cair menjadi fasa padat. Larutan satu fasa (*one phase solution*) yang mengandung polimer diubah melalui proses pengendapan menjadi dua fasa yang terpisah (*two separate phase*), yaitu fasa padat yang kaya polimer dan fasa cair yang

kandungan polimernya rendah. *Proto membrane* terbentuk dari larutan polimer yang *dicasting* pada suatu substrat membentuk lapisan film.

Coating

Coating merupakan teknik pembuatan membran komposit yang sangat sederhana untuk memperoleh lapisan *dense* yang sangat tipis di atas permukaan membran support yang bersifat *porous*. Pada proses ini diperoleh membran yang memiliki selektifitas tinggi dan fluks yang relatif tinggi.

2.7 Karakterisasi Membran

Berbagai metode karakterisasi membran untuk filtrasi telah dikembangkan. Metode ini diklasifikasikan sebagai berikut:

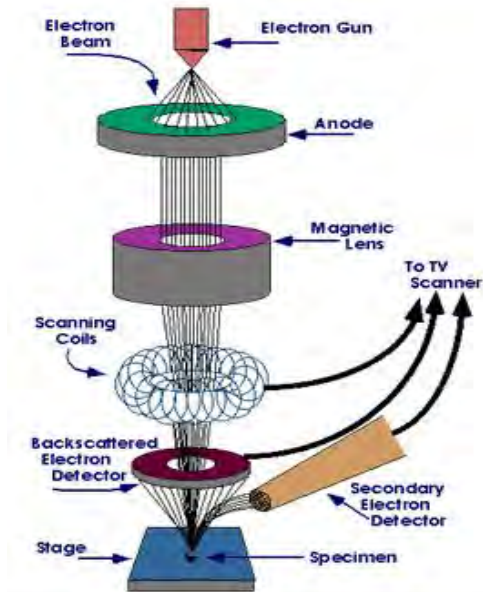
1. Metode fisik untuk menentukan ukuran pori dan distribusi ukuran pori membran.
2. Metode yang didasarkan pada performa rejeksi molekul partikel.

Dengan menggunakan pengukuran pori dan distribusinya, performa rejeksi dapat dihitung. Penggambaran model fenomena perpindahan dalam membran dibutuhkan untuk memperoleh informasi ukuran pori untuk rejeksi (Wenten, 1995).

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan suatu metode yang tepat untuk mengkarakterisasi membran nanofiltrasi. Batas resolusi mikroskop elektron 0,01 μm (10 nm) dan sekitar 0,005 (5 nm). Prinsip kerja SEM adalah elektron dengan energi kinetik tinggi dipancarkan dari sumbernya dan mengenai sampel membran. Pantulan elektron ini (elektron kedua) akan ditangkap oleh detektor, sehingga membentuk bayangan tertentu. Tampilan permukaan sampel bergantung pada intensitas pengukuran elektron kedua (Darwo, 2003).

Prinsip SEM secara garis besar, yaitu seberkas elektron dengan energi kinetik 1-25 kV ditembakkan pada sampel membran. Elektron yang ditembakkan disebut sebagai elektron primer (energi tinggi) dan yang dipantulkan adalah elektron sekunder (energi rendah). Elektron sekunder tidak dipantulkan

tapi disebarkan oleh atom pada permukaan dan membentuk gambaran pada layar atau mikrograf (Mulder, 1996). Gambar 2.8 merupakan diagram skematik dan cara kerja SEM.



Gambar 2.8 Diagram skematik fungsi dasar dan cara kerja SEM (Anggraeni, 2008).

SEM sangat cocok digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan pembesaran berkisar antara 20 kali sampai 500.000 kali. Sebelum melalui lensa elektromagnetik terakhir *scanning raster* mendeflesikan berkas elektron untuk men-*scan* permukaan sampel. Hasil scan ini tersinkronisasi dengan tabung sinar katoda dan gambar sampel akan tampak pada area yang di-*scan*. Tingkat kontras yang tampak pada tabung sinar katoda timbul karena hasil refleksi yang berbeda-beda dari sampel.

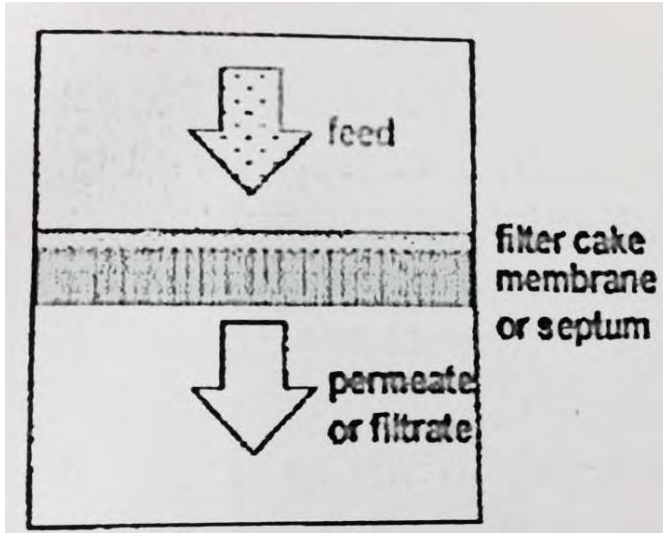
Sewaktu berkas elektron menumbuk permukaan sampel sejumlah elektron direfleksikan sebagai *backscattered electron* (BSE) dan yang lain membebaskan energi rendah *secondary electron* (SE). Elektron-elektron BSE dan SE yang direfleksikan dan dipancarkan sampel dikumpulkan oleh sebuah *scintillator* yang memancarkan sebuah pulsa cahaya pada elektron yang datang. Cahaya yang dipancarkan kemudian diubah menjadi sinyal listrik dan diperbesar oleh *photomultiplier*. Setelah melalui proses pembesaran sinyal tersebut dikirim ke bagian *grid* tabung sinar katoda. *Scintillator* biasanya memiliki potensial positif sebesar 5 – 10 kV untuk mempercepat energi rendah yang dipancarkan elektron agar cukup untuk mengemisikan cahaya tampak ketika menumbuk *scintillator*. *Scintillator* harus dilindungi agar tidak terkena defleksi berkas elektron utama yang memiliki potensial tinggi. Pelindung metal yang mengandung metal *gauze* terbuka yang menghadap sampel memungkinkan hampir seluruh elektron melalui permukaan *scintillator* (Anggraeni, 2008).

Kekurangan SEM adalah sampel dapat rusak dan terbakar tergantung dari jenis polimer dan votase. Agar tidak rusak dan terbakar sampel harus dibungkus dengan lapisan konduktor (lapisan emas). Kekurangan lainnya adalah pengeringan dari sampel yang basa, karena gaya kapiler juga ikut terlibat dalam rusaknya struktur. Hal ini dapat diatasi dengan *cryounit* atau mengganti air di dalam membran dengan cairan yang mempunyai tegangan permukaan lebih rendah. Kelebihan dari metode ini yaitu dapat memperlihatkan struktur penampang membran secara jelas dan resolusi yang cukup tinggi dari mikroskop. SEM dapat memberikan gambaran struktur membran dengan jelas (Wenten, 1995).

2.8 Jenis Aliran Umpan pada Pengoperasian Membran

Dalam proses membran, terdapat tiga aliran yaitu aliran *feed*, aliran *retentate* dan aliran *permeate*. *Retentate* merupakan aliran yang tidak melewati membran. Apabila dalam suatu sistem

membran tidak terdapat aliran *retentate*, maka aliran sistem tersebut disebut sebagai sistem *dead-end* atau *full-flow* (Judd dan Jefferson, 2003). Skema sistem *dead-end* ditunjukkan oleh Gambar 2.9.



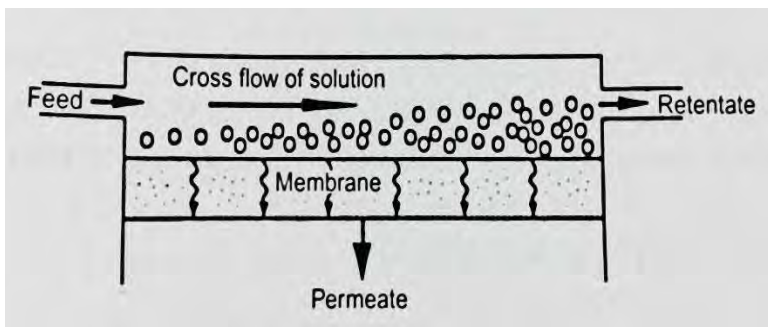
Gambar 2.9 Skema Sistem *Dead-end* (Judd dan Jefferson, 2003)

Pada aliran *dead end*, keseluruhan dari fluida melewati membran (sebagai media filter) dan partikel tertahan pada membran, dengan demikian fluida umpan mengalir melalui tahanan membran dan tahanan penumpukan partikel pada permukaan membran (Notodarmojo *et al.*, 2004). Penggunaan sistem *dead-end* ini terbatas digunakan pada air dengan kandungan padatan rendah, seperti pada membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi pada pengolahan air limbah domestik dan siklus operasi dengan adanya *backwashing* (Judd dan Jefferson, 2003).

Air dengan kandungan padatan yang tinggi atau membran dengan kemampuan terbatas (membran padat) tidak dianjurkan untuk menggunakan sistem aliran *dead-end*. Sistem aliran yang

sesuai untuk air yang tinggi kandungan padatnya adalah aliran *cross-flow* (Judd dan Jefferson, 2003).

Pada sistem *cross-flow*, arah aliran umpan paralel atau sejajar dengan permukaan membran. Aliran paralel tersebut akan menghasilkan gaya geser (*shear forces*) dan/atau turbulensi didekat permukaan membran sehingga pembentukan filter cake (deposisi partikel yang menumpuk pada permukaan membran) relatif kecil (Notodarmojo *et al.*, 2004). Skema sistem *cross-flow* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Skema Sistem *Cross-flow* (Scott dan Hughes, 1996)

Pada sistem aliran *cross-flow*, arah aliran larutan umpan sejajar dengan permukaan membran. Pada sistem ini, *fouling* masih dapat terjadi, namun dapat dikurangi dengan gaya dorong aliran umpan akibat kecepatan alir larutan umpan. Hal ini menyebabkan kecepatan alir larutan umpan memegang peranan penting untuk meningkatkan efisiensi pemisahan (Jacangelo dan Buckley, 1996).

2.9 Pompa dan Penentuan Pompa

Pompa merupakan suatu alat yang berguna untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat lain. Menurut prinsip operasi dasarnya, pompa dibedakan menjadi pompa

dinamik dan pompa pemindahan positif. Pompa dinamik dapat dibedakan menjadi pompa sentrifugal dan pompa pengaruh khusus. Sedangkan pompa perpindahan positif, dapat dibedakan menjadi pompa *rotary* dan *reciprocating* (UNEP, 2006).

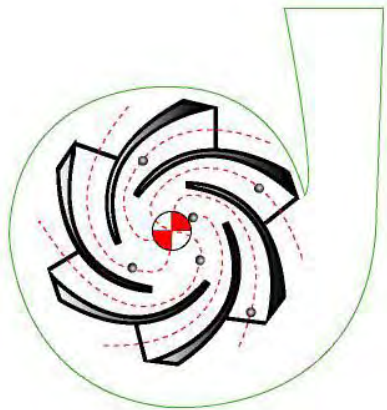
Hal yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain suatu sistem pemompaan adalah pemilihan kelas, jenis, kapasitas dan detail pompa yang akan dipakai. Pada dasarnya ada lima langkah penting dalam memilih pompa, yaitu: (1) membuat sketsa pompa dan bagan susun (layout) pemipaan (2) menentukan kapasitas, (3) menentukan tinggi-tekan total (4) memilih kelas dan jenis pompa (Hicks & Edwards, 1996).

Langkah pertama adalah pembuatan skets bagan-susun meliputi langkah-langkah yang mendasarkan skets pada diagram garis tunggal, panjang pipa pada skets tersebut ditandai dan dipastikan bahwa semua pengangkatan vertikal sudah tercakup. Selanjutnya untuk menentukan kapasitas yang dibutuhkan adalah nilai debit yang diperlukan untuk dipindahkan dengan menggunakan pompa. Penentuan tinggi-tekan total pada suatu sistem pemompaan adalah dengan menentukan berapa tekanan yang diperlukan untuk mengatasi tahanan sistem. Nilai ini disebut dengan *head*. *Head* total merupakan jumlah dari *head* statik dan *head* gesekan/friksi (UNEP, 2006). Langkah terakhir yaitu memilih kelas dan jenis dapat dilakukan dengan mengkaji bagan-susun akan diperoleh ukuran (kapasitas dan tinggi-tekan) pompa yang dibutuhkan (Hicks & Edwards, 1996).

2.9.1 Pompa Sentrifugal

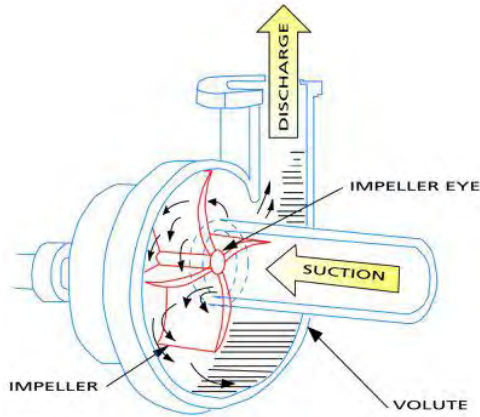
Berdasarkan teori pemilihan yang telah dijelaskan sebelumnya, pompa yang sesuai digunakan dalam reaktor uji untuk pengujian kinerja membran adalah pompa sentrifugal. Pompa ini beroperasi pada kecepatan yang tinggi sehingga dimensinya relatif kecil daripada pompa jenis lain pada tinggi-tekan yang sama. Pada pengoperasiannya, tidak ada bagian-bagian yang bergesek sehingga tidak akan ada keausan. Pompa ini dapat diaplikasikan untuk fluida-fluida yang mengandung

bahan-bahan padat ukuran kecil (pasir, debu, dan lain-lain) dengan keausan yang lebih kecil dibandingkan dengan pompa lain. Hal ini disebabkan oleh ruang-bebas (*clearance*) pada pompa sentrifugal relatif lebih besar antara bagian-bagian yang bergerak di dalamnya (Church, 1993). Pompa sentrifugal dapat diilustrasikan pada Gambar 2.11.

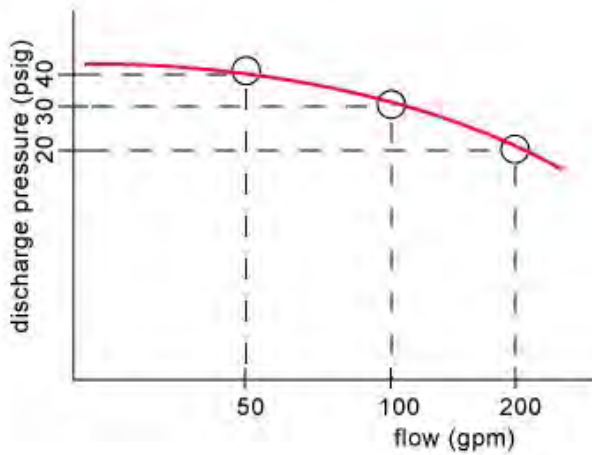


Gambar 2.11 Pompa sentrifugal (Chaurette, 2005)

Fluida memasuki pompa melalui *suction flange*, kemudian berbelok 90° ke *impeller* dan mengisi ruangan antara baling-baling *impeller*. Mekanisme aliran fluida yang memasuki pompa sentrifugal dapat dilihat pada Gambar 2.11. Kurva performansi dan karakteristik pada kebanyakan pompa sentrifugal dapat dilihat pada Gambar 2.13. Dalam gambar tersebut diasumsikan bahwa level pada tangki hisap selalu konstan. Gambar tersebut menunjukkan variasi tekanan *discharge* pada *flowrate* yang melewati pompa.

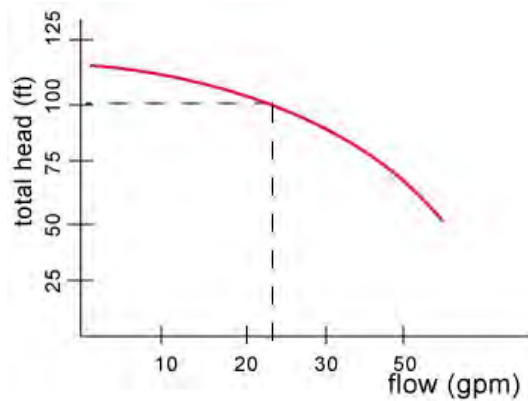


Gambar 2.12 Aliran pada pompa sentrifugal (Chaurette, 2005)



Gambar 2.13 Kurva tipikal tekanan *discharge* vs *flowrate* dari pompa sentrifugal (Chaurette, 2005)

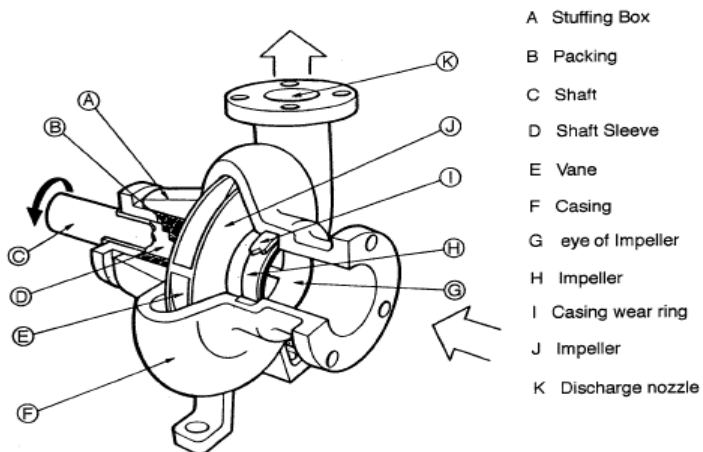
Gambar 2.14 menunjukkan tipikal kurva antara *total head* dan *flowrate* pada pompa sentrifugal.



Gambar 2.14 Kurva tipikal *total head vs flowrate* pompa sentrifugal (Chaurette, 2005)

2.9.2 Komponen Pompa Sentrifugal

Gambar 2.15 berikut menunjukkan komponen-komponen utama yang terdapat pada pompa sentrifugal.



Gambar 2.15 Komponen Utama Pompa Sentrifugal (Chaurette, 2005)

Komponen utama dari pompa sentrifugal terlihat pada Gambar 2.15 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Komponen berputar: *impeller* yang disambungkan pada poros
 - Komponen statis: *casing*, penutup *casing*, dan *bearings*.
- a. *Impeller*
Impeller merupakan cakram bulat dari logam dengan lintasan untuk aliran fluida yang sudah terpasang. *Impeller* biasanya terbuat dari perunggu, polikarbonat, besi tuang atau *stainless steel*, namun bahan-bahan lain juga digunakan. Jumlah *impeller* menentukan jumlah tahapan pompa. Pompa satu tahap memiliki satu *impeller* dan sangat cocok untuk layanan *head* (tekanan) rendah. Pompa dua tahap memiliki dua *impeller* yang terpasang secara seri untuk layanan *head* sedang. Pompa multi-tahap memiliki tiga *impeller* atau lebih terpasang seri untuk layanan *head* yang tinggi.
 - b. Batang torak
 Batang torak memindahkan *torque* dari motor ke *impeller* selama *startup* dan operasi pompa.
 - c. Wadah
 Fungsi utama wadah adalah menutup *impeller* pada penghisapan dan pengiriman pada ujung dan sehingga berbentuk tangki tekanan. Tekanan pada ujung penghisapan dapat sekecil sepersepuluh tekanan atmosfer dan pada ujung pengiriman dapat dua puluh kali tekanan atmosfer pada pompa satu tahap. Untuk pompa multi-tahap perbedaan tekanannya jauh lebih tinggi. Wadah dirancang untuk tahan paling sedikit dua kali tekanan ini untuk menjamin batas keamanan yang cukup. Fungsi wadah yang kedua adalah memberikan media pendukung dan bantalan poros untuk batang torak dan *impeller*. Oleh karena itu wadah pompa harus dirancang untuk:
 - Memberikan kemudahan mengakses ke seluruh bagian pompa untuk pemeriksaan, perawatan dan perbaikan
 - Membuat wadah anti bocor dengan memberikan kotak penjejal

- Menghubungkan pipa-pipa hisapan dan pengiriman ke flens secara langsung
- Mudah dipasang dengan mudah ke mesin penggerak (motor listrik) tanpa kehilangan daya.

2.10 Zeolit

Zeolit adalah zat yang terdiri dari aluminium, silikon dan oksigen. Zat ini terdapat pada beberapa wilayah yang sintesis vulkaniknya cukup tinggi dan berada di sumber air. Zeolit memiliki struktur berpori dan beberapa zeolit yang natural bersifat hidrofilik sedangkan beberapa zeolit sintesis mempunyai sifat hidrofobik, disebutkan jika kandungan silika lebih tinggi daripada aluminium, maka zeolit akan cenderung hidrofobik. Pada dasarnya, zeolit hidrofobik memerlukan sintesa lebih lanjut karena secara natural tidak tersedia. Karena struktur pori, zeolit sering digunakan sebagai alat untuk memisahkan suatu zat dari zat lain yang molekulnya lebih kecil atau lebih besar sehingga dapat diakomodasi pemisahannya oleh struktur pori zeolit. Dalam penggunaannya sebagai pemisah, zeolit telah banyak disintesa untuk kemudian dimodifikasi strukturnya sehingga dapat menyaring dan memisahkan zat dengan perbedaan besar molekul.

Karakteristik penting dari zeolit berikut ini menjadikan zat ini cukup banyak digunakan, yaitu:

1. Zeolit dapat menjadi penyeleksi dalam pertukaran ion.
2. Pori zeolit dapat menyimpan beberapa molekul serta dapat menyeleksi ukuran molekul tertentu.
3. Dapat menjadi katalis solid yang bersifat asam.
4. Zeolit merupakan zat yang metastabil dalam keadaan tertentu (pH dan Temperatur) (Akbar, 2009).

Beberapa silikon dalam zeolit digantikan oleh atom aluminium yang memberikan struktur bermuatan negatif. Muatan negatif diimbangi oleh adanya kation seperti ion natrium, kalsium dan barium yang kurang terikat kuat. Keadaan ini memungkinkan pergantian ion-ion tersebut dengan kation lain dalam larutan dengan cara pertukaran ion (Akbar, 2009).

Zeolit merupakan material yang memiliki banyak kegunaan. Zeolit telah banyak diaplikasikan sebagai adsorben, penukar ion, dan sebagai katalis. Pasir zeolit terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batu-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga akhirnya terbentuk mineral-mineral zeolit. Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu-debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap di dasar danau dan dasar lautan. Debu-debu vulkanik tersebut selanjutnya mengalami berbagai macam perubahan oleh air danau atau air laut sehingga terbentuk sedimen-sedimen yang mengandung zeolit di dasar danau atau laut tersebut (Setyawan, 2002).

Menurut data Pusat Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (PPTMB) penambangan zeolit alam di Indonesia terus meningkat. Jumlah tersebut didominasi oleh zeolit dengan jenis klinoptilolit dan modernit. Lokasi penambangan zeolit tersebar luas di berbagai daerah seperti Bayah-Banten, Cikalong-Tasikmalaya, Cikembar dan Naggung-Bogor, Sukabumi dan Kalianda, Cukuh Bulak, Talang Padang-Lampung dan seterusnya (Akbar, 2010).

Zeolit alam terdapat di daerah gunung berapi, tepi sungai, laut dan danau berupa sedimen mineral alam, biasanya terdapat dalam jumlah besar dalam skala Megaton. Di Indonesia, zeolit alam terdapat di berbagai pulau, tersebar di Jawa, NTT, Irian, Sumatera, Sulawesi dan Kalimantan dengan deposit yang berlimpah. Deposit zeolit paling banyak terdapat di Pulau Jawa; Jawa Tengah: Wonosari, Klaten; Jawa Barat: Bogor, Tasikmalaya, Sukabumi; Jawa Timur: Bayah. Deposit zeolit alam di Jawa Barat menempati posisi tertinggi, yaitu sekitar 400 juta ton. Kandungan utama zeolit alam Indonesia adalah mineral

modernit dan klinoptilolit. Mayoritas zeolit alam yang ada di Jawa tersusun dari modernit sekitar 60-70%, sisanya adalah klinoptilolit kristal dan kwarsa amorpas (Trisunaryanti *et al.*, 2008)

Sintesis dan modifikasi yang dilakukan terhadap berbagai pasir zeolit seperti perlakuan asam dan substitusi isomorfis ternyata mampu memperbaiki karakter pasir zeolit antara lain dalam peningkatan keasaman, kristalinitas, luas permukaan spesifik dan rasio Si/Al serta hilangnya pengotor-pengotor (Lestari, 2010).

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terhadap penggunaan limbah dalam pengolahan limbah telah dilakukan sejak dahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Notodarmojo *et al.* (2004) adalah bagaimana pengaruh *pretreatment* terhadap fluks dan pembentukan cake pada penggunaan membran selulosa asetat dengan sistem aliran *cross-flow*. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *pretreatment* dapat meningkatkan fluks *permeate* dan menurunkan konstanta pembentukan *cake* yang berdampak pada meningkatnya waktu operasi membran. Nilai fluks yang didapatkan pada membran yang diumpangkan dengan limbah tanpa dan dengan *pretreatment* adalah 17,03 L/m².jam dan 59,05 L/m².jam.

Penelitian yang dilakukan oleh Akbar (2010) merupakan pembuatan membran mikrofiltrasi dengan bahan yang digunakan adalah zeolit dan penambahan semen putih sebagai perekat. Pada penelitian ini terdapat variasi massa zeolit sebesar 45 g, 60 g dan 66 g, sedangkan variasi massa semen sebesar 45 g, 30 g dan 22 g. Dari variasi tersebut didapatkan tipe sampel membran yaitu Z₁S, Z₂S dan Z₃S. Dalam penelitian tersebut dikemukakan bahwa densitas berhubungan dengan pori membran. Semakin besar densitas suatu benda, maka pori yang terbentuk semakin kecil. Nilai fluks membran mikrofilter zeolit sebesar 0,40, 1,41 dan 2, 22 kg/h.m² untuk masing-masing sampel Z₁S, Z₂S dan Z₃S. Membran mikrofilter ini dapat memisahkan 100% ion Mn²⁺,

96,4% ion Fe^{2+} , dan 69,4% ion (untuk tipe membran Z_1S), 100% ion Mn^{2+} , 86,2% ion Mg^{2+} , 99,4% ion Fe^{2+} (untuk tipe membran Z_2S), 73,7% ion Mg^{2+} , 100% Mn^{2+} , 99,2 % (untuk tipe membran Z_3S). Selain itu, membran mikrofilter zeolit ini juga mampu menjernihkan air yang keruh.

Penggunaan zat aditif polietilen glikol (PEG) dalam proses pembuatan membran dilakukan oleh Rosnelly (2012). Pada penelitian tersebut, dilakukan penelitian terhadap pengaruh rasio aditif polietilen glikol terhadap selulosa asetat pada pembuatan membran selulosa asetat secara inversi fasa. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa penambahan PEG dapat meningkatkan kinerja membran, yakni mempertinggi nilai fluks dan nilai rejeksi membran. Peningkatan rasio PEG terhadap SDA pada pembuatan membran menghasilkan fluks dengan nilai yang tinggi dan nilai rejeksi yang rendah.

Maharani dan Damayanti (2013) melakukan penelitian tentang pengolahan limbah cair rumah makan dengan menggunakan membran nanofiltrasi silika aliran *cross-flow* untuk menurunkan fosfat dan amonium. Pada penelitian ini digunakan variasi konsentrasi limbah sebesar 100%, 50% dan 25 % serta variasi massa silika sebesar 5, 8 dan 10 gram. Penelitian tersebut menyatakan bahwa massa silika optimum dalam pembuatan membran nanofiltrasi silika adalah 5 gram yang didasarkan pada nilai koefisien rejeksi dimana nilai ini akan berpengaruh pada kualitas permeat yang dihasilkan. Nilai koefisien rejeksi untuk parameter amonium dan fosfat adalah 91,04% dan 59,54%. Sedangkan nilai fluks rata-rata dihasilkan oleh membran 8 gram dengan variasi volume 25% dengan konsentrasi limbah 2,79 mg/l fosfat atau 37,17 mg/l ammonium yaitu 3,91 $\text{L/m}^2\cdot\text{jam}$.

Penelitian yang dilakukan oleh Widysmara dan Dewi (2013), menggunakan membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi dalam mengolah limbah cair berminyak dalam bentuk emulsi air. Dalam penelitian ini digunakan model limbah berminyak berupa emulsi minyak-air yang distabilisasi dengan surfaktan. Model air limbah yang digunakan adalah limbah cair berminyak yang dibuat

dengan mencampur surfaktan *Tween 80* dengan konsentrasi 2% dengan minyak (*vegetable oil*, *diesel oil* dan *cutting oil*). Pada penelitian ini didapatkan bahwa dengan meningkatnya TMP (*Trans Membran Pressure*) maka terjadi peningkatan fluks permeat sedangkan nilai fluks terbesar pada jenis minyak *vegetable oil*. Selain itu, semakin tinggi konsentrasi maka fluks yang diperoleh hampir sama dan bahkan semakin kecil. Rejeksi surfaktan untuk membran ultrafiltrasi pada limbah *vegetable oil* konsentrasi 50 mg/l adalah 70-80% (1 bar), 70-83% (2 bar), dan 77-86% (3 bar). Sedangkan pada konsentrasi 200 mg/l adalah sebesar 69-74,5% (1 bar), 70-77% (2 bar) dan 72-82,5% (3 bar). Kemampuan rejeksi COD membran mikrofiltrasi sebesar 64,41% (*vegetable oil*), 61, 89% (*diesel oil*) dan 48, 55% (*cutting oil*), sedangkan rejeksi COD membran UF sebesar 98,83% (*vegetable oil*), 98, 66% (*diesel oil*) dan 94, 89% (*cutting oil*).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nugroho dan Damayanti (2014), didapatkan removal yang efektif terhadap nitrat dan amonium pada air limbah tahu. Dalam penelitian tersebut, digunakan variasi ukuran partikel zeolit sebagai penyusun membran dan durasi sentrifugasi dalam proses pemurnian zeolit. Dari penelitian tersebut, didapatkan bahwa permeabilitas membran zeolit tertinggi terdapat pada membran dengan ukuran partikel zeolit 200 mesh dengan durasi sentrifugasi selama 10 menit. Nilai fluks membran zeolit adalah 6,67 L/m².jam. Permselektivitas membran zeolit tertinggi dalam menghilangkan nitrat pada ukuran partikel 200 mesh dengan durasi sentrifugasi selama 10 menit dengan nilai 89,26 %. Sedangkan permselektivitas membran zeolit tertinggi dalam menghilangkan amonium pada ukuran partikel 40 mesh dengan durasi setrifugasi selama 10 menit dengan nilai 98,18%.

Tabel 2.3 merupakan ringkasan hasil penelitian terkait pengolahan air limbah dengan menggunakan membran nanofiltrasi.

Tabel 2.3 Ringkasan Hasil Penelitian Membran
Nanofiltrasi pada Air Limbah

No	Limbah	Parameter	Fluks ($L \cdot m^{-2} \cdot jam^{-1}$)	Rejeksi (%)	Rujukan
1.	Limbah Cair Rumah Makan	- Fosfat - Amonium	3,91	- 59,94 - 91,04	Maharani dan Damayanti
2.	Limbah Cair Tahu	- Nitrat - Amonium	3,67	92,17	Puspayana dan Damayanti
3.	Limbah Cair Industri Pewarnaan Jeans	- Warna - Kekeruhan	3,43	- 96,86 - 99,31	Rachmawati dan Damayanti
4.	Limbah Laundry	- Kekeruha - Fosfat	2,81	- 91,33 - 56,07	Aufiyah dan Damayanti
5.	Limbah Cair Tahu	- Nitrat - Amonium	6,67	- 89,26 - 98,18	Nugroho dan Damayanti

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Metode penelitian ini digunakan untuk merinci hal-hal yang dilakukan dalam pengolahan limbah cair rumah makan dengan menggunakan teknologi membran nanofiltrasi zeolit. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan bahan utama membran berasal dari zeolit. Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah massa zeolit dan konsentrasi limbah. Untuk pengujian permeabilitas dan selektivitas membran dilakukan dengan menggunakan reaktor *cross-flow*, sementara menganalisis morfologi membran dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*. Parameter yang telah diteliti berupa kekeruhan, minyak dan lemak.

3.2 Kerangka Penelitian

Dalam penyusunan tugas akhir ini diperlukan suatu kerangka penelitian. Kerangka penelitian berfungsi sebagai acuan dalam pelaksanaan yang disusun berdasarkan pada pemikiran adanya permasalahan untuk mencapai tujuan penelitian. Tujuan dari penyusunan kerangka penelitian ini adalah:

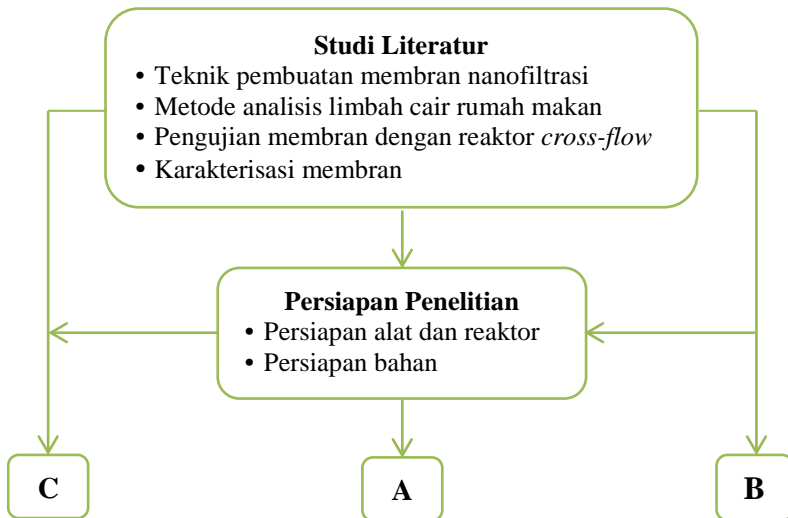
1. Sebagai deskripsi awal mengenai tahapan dan metode yang digunakan selama penelitian agar pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan menjadi lebih sistematis.
2. Mengetahui tahapan yang harus dilakukan dalam proses penelitian sehingga mudah dalam melakukan penelitian dan memperkecil kesalahan prosedur dalam penelitian.
3. Mempermudah proses pemahaman setiap hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian sehingga tujuan penelitian dapat tercapai dengan baik.

3.3. Tahapan Penelitian

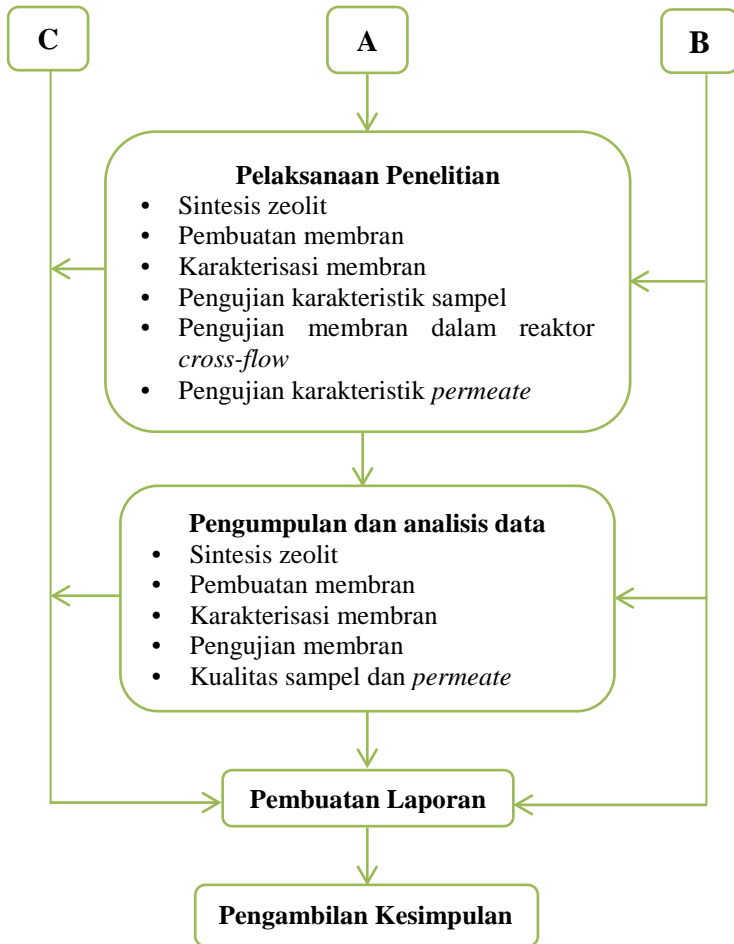
Tahapan penelitian dalam penyelesaian Tugas Akhir (TA) ini meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, pengumpulan data, analisis data dan pembahasan, serta pengambilan kesimpulan. Tahapan penelitian ini harus disusun secara sistematis untuk mempermudah dalam pelaksanaan tugas akhir. Diagram alir penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh teori penunjang penelitian yang dilakukan. Studi literatur ini berfungsi untuk mendapatkan dan mengkaji teori yang mendasari ruang lingkup penelitian dan mendukung tercapainya tujuan penelitian. Studi literatur meliputi jurnal, artikel ilmiah, *text book*, laporan penelitian, tugas akhir, thesis dan hasil penelitian-penelitian yang relevan terhadap penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

Studi literatur dalam penelitian ini meliputi teori mengenai:

1. Teknik pembuatan membran nanofiltrasi.
2. Metode analisis limbah cair rumah makan.
3. Pengujian membran dengan reaktor *cross-flow*.
4. Karakterisasi membran.

3.3.2 Persiapan Penelitian

a. Persiapan alat.

1. Persiapan alat.

Peralatan yang digunakan dalam sintesis zeolit adalah antara lain: gelas beker ukuran 250 ml dan 1000 ml, gelas ukur, pipet volumetrik, spatula logam dan kaca, cawan keramik, mortar, kertas saring, neraca analitik, *furnace*, ayakan, kompor listrik, termometer, *vacuum pump*, oven dan desikator. Persiapan alat yang digunakan dalam pembuatan membran antara lain: gelas beker 400 ml, cawan petri, spatula logam, spatula kaca, neraca analitik, pipet volumetrik, *centrifuge*, *magnetik stirer*, kompor listrik dan SEM.

Alat yang digunakan untuk analisis sampel dan *permeate* adalah turbidimeter, desikator, oven, pipet volum, gelas ukur, labu destilasi, corong pemisah dan destilator.

2. Persiapan reaktor.

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor *cross-flow* yang berfungsi untuk mengetahui kemampuan membran dalam meremoval parameter kekeruhan, minyak dan lemak. Reaktor tersebut dibuat menggunakan bahan pipa AW, pipa PVC, selang, manometer, valve dan pompa.

b. Persiapan bahan.

1. Persiapan zeolit.

Zeolit yang akan digunakan sebagai bahan baku membran akan disintesis terlebih dahulu dari pasir zeolit. Bahan yang digunakan dalam sintesis zeolit ini adalah pasir zeolit, KOH, HCl 15%, HCl 37% dan aquades.

2. Persiapan pembuatan membran.

Bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan membran adalah larutan 2-Propanol, NH_4Cl , PEG (*Poly Ethylen Glicol*), PVA (*Poly Vinil Alcohol*) dan aquades.

3. Persiapan Sampel.

Sampel diambil dari suatu rumah makan XYZ yang berada di kota Surabaya dan diambil dari saluran pembuangan

akhir. Sampel yang akan digunakan didiamkan terlebih dahulu selama 24 jam untuk menurunkan kadar kekeruhan, minyak dan lemak.

4. Persiapan Analisis Sampel dan *Permeate*.

Analisis *permeate* dilakukan dengan menguji kadar dari parameter yang telah ditentukan antara lain parameter kekeruhan, minyak dan lemak. Analisis parameter minyak dan lemak dilakukan dengan metode gravimetri, dengan bahan yang digunakan antara lain asam sulfat, aquades dan n-heksan. Pada analisis kekeruhan tidak ada bahan tambahan lain yang digunakan.

3.3.3 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan secara bertahap berdasarkan tahapan penelitian yang telah disusun dalam kerangka penelitian. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing tahapan penelitian:

a. Sintesis zeolit dari pasir zeolit

Langkah pertama, pasir zeolit sebagai bahan baku dihaluskan dengan menggunakan mortar dan diayak sehingga diperoleh diameter ± 200 mesh. Langkah selanjutnya adalah perendaman zeolit dengan HCl 15% selama 24 jam, setelah itu dioven untuk menghilangkan kadar airnya. Setelah dingin, zeolit dicampurkan dengan KOH dan *difurnace* pada suhu 550°C selama 2 jam. Setelah itu dilarutkan dengan aquades dan didiamkan selama 24 jam. Setelah didiamkan selama 24 jam, larutan dititrasikan dengan asam kuat (HCl 37%) sambil dipanaskan pada suhu 50°C, kemudian dicuci dengan menggunakan aquades. Tahap selanjutnya adalah menyaring larutan untuk memisahkan zeolit dan aquades. Zeolit yang telah disaring kemudian dioven dan ditumbuk menggunakan mortar. Secara sistematis, prosedur pembuatan zeolit dapat dilihat pada Gambar Lamp. A1.

b. Pembuatan membran.

Pembuatan membran dilakukan dengan beberapa variasi diantaranya:

1. Variasi berat zeolit yang digunakan dalam pembuatan membran, yaitu 3 gram dan 6 gram.
2. Variasi konsentrasi air limbah adalah 100%, 75% dan 50%.

Masing-masing massa yang telah ditimbang dimasukkan dalam botol *sentrifuge* kemudian ditambahkan larutan 2-Propanol. Larutan tersebut disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 600 rpm. Setelah selesai disentrifugasi akan terbentuk endapan putih zeolit yang telah tercampur 2-Propanol dengan merata. Endapannya diambil untuk pembuatan membran dan cairan atasnya dibuang. Endapan putih dimasukkan dalam *beaker glass* yang telah berisi campuran NH_4Cl dan aquades kemudian di aduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam dan dibiarkan sampai mengendap.

Proses pencetakan membran dilakukan dengan pencampuran larutan PEG (*Poly Ethylen Glicol*), PVA (*Poly Vinil Alcohol*) dan aquades. Larutan PEG, PVA serta aquades ditambahkan ke dalam cawan keramik 300 ml dan masing-masing variasi massa zeolit. Campuran tersebut dipanaskan sambil terus-menerus diaduk sampai larutan mengental. Setelah larutan mengental kemudian dicetak dengan menggunakan cawan petri dan dibiarkan selama 30 jam. Prosedur pembuatan membran secara sistematis dapat dilihat pada Gambar Lamp. B1.

c. Karakterisasi membran.

Karakterisasi membran merupakan analisis morfologi membran yang bertujuan untuk melihat permukaan membran dan elemen lain yang termasuk morfologi membran dengan menggunakan alat SEM-EDX. Gambar 3.2 merupakan gambar alat yang dilakukan untuk melakukan uji SEM-EDX.



Gambar 3.2 Alat Uji SEM-EDX (Hasil penelitian, 2014)

Analisis morfologi membran dengan SEM-EDX menggunakan membran yang telah dioven sebelumnya dan dilakukan *coating* terlebih dahulu karena membran yang dibuat tidak bersifat konduktor. Selanjutnya membran dibekukan dengan nitrogen cair, kemudian dipatahkan dan ditempelkan pada holder. Membran dilapisi emas lalu dimasukkan ke dalam chamber. Langkah terakhir adalah dilakukan pemotretan terhadap permukaan membran.

Analisis morfologi dilakukan sebanyak dua kali yaitu membran pada saat sebelum dan sesudah digunakan untuk menyaring air limbah rumah makan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui ukuran pori membran dan morfologi membran sebelum dan sesudah digunakan pada reaktor *cross-flow*.

d. Pengujian karakteristik sampel.

Dalam percobaan pendahuluan ini berisi prosedur tentang pengujian karakteristik sampel limbah cair rumah makan yang berasal dari industri rumah makan untuk mengetahui kadar awal kekeruhan, minyak dan lemak sehingga dapat diketahui

prosentase besar penurunannya. Pada Gambar 3.6, titik pengambilan air sampel adalah pada Titik 1.

Analisis kekeruhan pada sampel limbah dengan menggunakan turbidimeter. Prinsip kerja dari alat ini adalah sinar yang datang mengenai suatu partikel ada yang diteruskan dan ada yang dipantulkan, maka sinar yang diteruskan digunakan sebagai dasar pengukuran (Day dan Underwood, 1996). Alat turbidimeter yang digunakan pada penelitian ini adalah CyberScan WL Turbidimeter TB1000 sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Alat Turbidimeter (Hasil penelitian, 2014)

Prosedur analisis kekeruhan pada air limbah secara sistematis dapat dilihat pada Gambar Lamp. D1. Cara menggunakan alat ini dalam menganalisa kekeruhan adalah menuangkan larutan sampel ke dalam kuvet sebanyak 25 mL. Kuvet yang telah diisi dengan larutan sampel dibersihkan bagian luarnya dengan

tissue supaya bersih dari sidik jari dan yang lainnya. Hal ini dikarenakan dapat mempengaruhi hasil pembacaan pada alat ketika digunakan. Hal yang dilakukan selanjutnya adalah dengan meletakkan kuvet pada alat tersebut, maka akan keluar skala pembacaan nilai kekeruhan pada layar dalam skala NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*).

Analisis untuk menentukan karakteristik minyak dan lemak menggunakan metode gravimetri. Prinsip pada metode ini adalah minyak dan lemak pada contoh uji diekstraksi dengan pelarut organik dalam corong pisah. Ekstrak minyak dan lemak dipisahkan dari pelarut organik secara destilasi. Residu yang tertinggal pada labu destilasi ditimbang sebagai minyak dan lemak.

Prosedur analisis minyak dan lemak secara sistematis dapat dilihat pada Gambar Lamp. C1. Analisis minyak lemak dengan metode gravimetri ini diawali dengan memindahkan larutan sampel ke corong pemisah, kemudian ditambahkan larutan H_2SO_4 untuk menciptakan suasana asam. Langkah selanjutnya adalah menambahkan pelarut *n-hexane* sebanyak 10 mL kemudian dikocok selama 3 kali dengan kuat. Setelah proses pengocokan maka akan terdapat dua lapisan sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.

Langkah selanjutnya adalah dengan memisahkan larutan yang berada di bagian bawah dengan larutan yang di bagian atas, sehingga didapatkan larutan ekstraksi yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.

Hasil ekstraksi tersebut kemudian dimasukkan ke dalam labu destilasi yang telah ditimbang. Larutan yang tidak dimasukkan ke dalam labu destilasi, dikocok lagi dengan menggunakan *n-hexane* sehingga diperoleh larutan ekstraksi yang mengandung minyak dan lemak. Metode ini diulang sampai dengan 3-4 kali. Selanjutnya, hasil ekstraksi tersebut didestilasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.4 Larutan sampel dan *n*-hexane yang telah dikocok (Hasil penelitian, 2014)



Gambar 3.5 Larutan ekstraksi yang mengandung minyak dan lemak (Hasil penelitian, 2014)



Gambar 3.6 Proses destilasi hasil ekstraksi (Hasil penelitian, 2014)

Proses destilasi tersebut berlangsung sampai dengan proses kondensasi berhenti. Setelah proses kondensasi berhenti, labu dipindahkan dan didinginkan dalam desikator.

Langkah selanjutnya, labu ditimbang sampai dengan berat tetap. Jumlah minyak dan lemak dalam contoh uji diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1:

$$\text{Kadar minyak-lemak (mg/L)} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{ml contoh uji}} \quad (3.1)$$

Dengan pengertian,

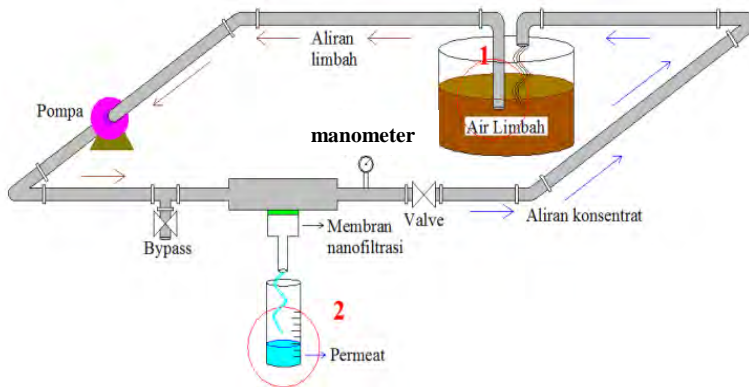
A adalah berat labu + ekstrak, mg;

B adalah berat labu kosong, mg.

(SNI 06-6989.10-2004, 2004)

- e. Pengujian membran dalam reaktor aliran *cross-flow*

Skema dari reaktor yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.7.



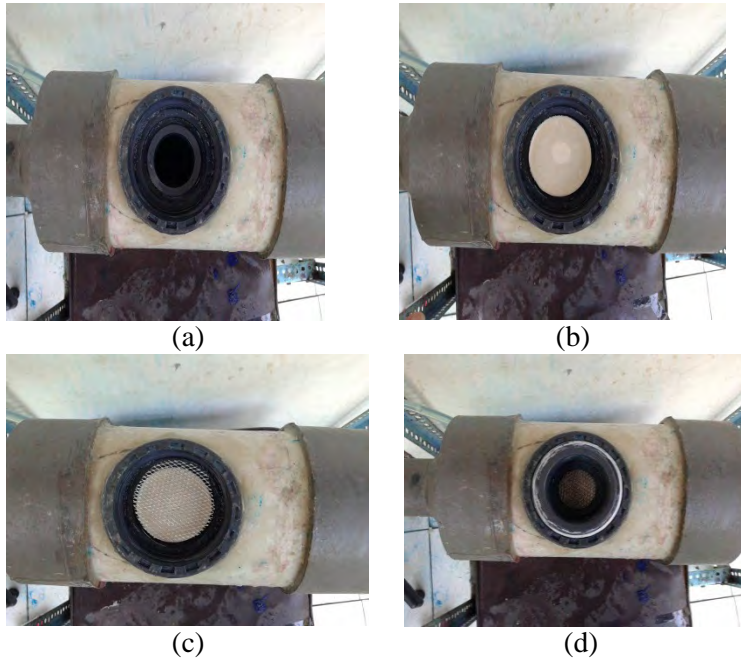
Gambar 3.7 Reaktor Aliran *Cross-flow* (Maharani dan Damayanti, 2011)

Pengujian membran untuk masing-masing variasi dilakukan selama 80 menit, interval pengambilan *permeate* tiap 20 menit sekali. Pengujian membran dalam reaktor menggunakan membran yang sudah dicetak berbentuk lingkaran. Membran yang akan digunakan diletakkan pada bagian reaktor yang terbuat dari water mur. Susunan peletakan membran pada water mur dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Susunan letak membran pada water mur (Nugroho dan Damayanti, 2014)

Membran yang telah diletakkan pada reaktor kemudian dilapisi dengan kasa stainless dan kemudian watermur tersebut ditutup dengan rapat supaya tidak bocor. Proses peletakan membran sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 (a). Tempat peletakan membran dalam reaktor; (b). Membran yang telah diletakkan dalam reaktor; (c). Membran yang telah dipasang dilapisi dengan kasa logam; (d). Pemasangan watermur (Hasil penelitian, 2014)

Langkah selanjutnya adalah 10 L air limbah ditampung ke dalam sebuah wadah. Proses dari reaktor tersebut diawali air limbah yang telah ditampung dalam wadah dipompa hingga melewati membran dengan tekanan pada pompa mencapai 5 bar. Hal ini dikarenakan tekanan operasi pada membran

nanofiltrasi yang paling rendah adalah pada tekanan 5 bar (Mulder, 1996). Jenis pompa yang akan digunakan adalah tipe Booster Pump dengan spesifikasi sebagai berikut:

- *Flow* : 1,17 liter/menit
- *Pressure* : 100 psi ($\pm 6,8948$ bar)
- *Ampere* : 0,22 ampere
- *Volts* : 220 – 240 volts

Jika *valve* ditutup, akan membuat tekanan air limbah yang menuju membran semakin besar sehingga air dapat melalui membran dan keluar sebagai *permeate*, sedangkan jika *valve* tersebut dibuka, tekanan air limbah menjadi kecil, maka kotoran yang terdapat di permukaan membran tersapu menuju ke wadah penampungan limbah kembali. Reaktor tersebut juga dilengkapi dengan *bypass* untuk mencegah berkumpulnya air limbah pada satu titik, sehingga *bypass* berfungsi untuk mengeluarkan air tersebut. Reaktor yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



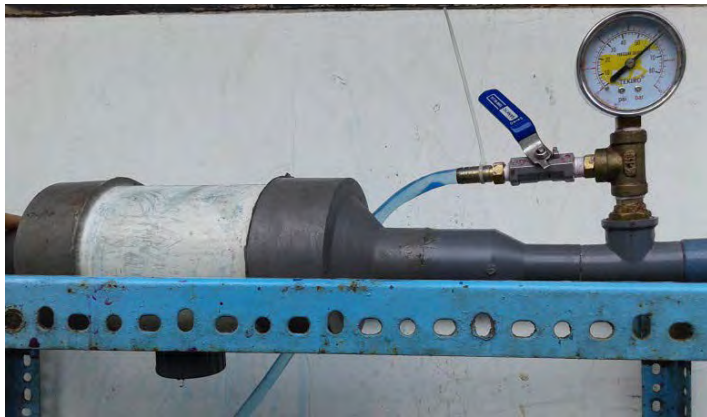
Gambar 3. 10 Reaktor uji aliran *cross-flow* (Hasil penelitian, 2014)

Pengujian membran dengan reaktor *cross-flow* bertujuan untuk mengetahui nilai fluks dan nilai rejeksi membran. Aliran

cross-flow pada membran merupakan aliran searah dengan permukaan membran, sehingga *fouling* tidak cepat terjadi. Berdasarkan gambar di atas, air limbah dialirkan sejajar dengan membran, kemudian *permeate* yang lolos dari membran ditampung untuk kemudian dianalisis kualitasnya. Gambar 3.11 menunjukkan *permeate* yang lolos saat pengujian limbah dengan menggunakan membran zeolit.

f. Pengujian karakteristik *permeate*

Limbah cair rumah makan yang telah dilewatkan pada reaktor *cross-flow* akan menghasilkan *permeate*. Selanjutnya dilakukan analisis *permeate* untuk mengetahui kadar kekeruhan minyak dan lemak. Analisis minyak dan lemak menggunakan analisis gravimetri. Analisis kekeruhan dengan menggunakan alat turbidimeter. Titik pengambilan sampel untuk uji *permeate* adalah pada Titik 2 pada Gambar 3.7.



Gambar 3.11 *Permeate* yang melewati membran (hasil penelitian, 2014)

3.3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data bertujuan untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam penelitian sehingga data yang diperoleh diharapkan mampu menjawab tujuan permasalahan penelitian ini.

3.3.5 Analisis Data dan Pembahasan

Data yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian ini adalah data primer yang didapatkan dari hasil penelitian yang terdapat dalam tahapan penelitian yaitu sintesis pasir zeolit, pembuatan membran, pengujian sampel dengan reaktor *cross-flow*, analisis sampel awal dan *permeate*, analisis SEM-EDX.

Data-data yang diperoleh dari tiap penelitian antara lain:

1. Sintesis zeolit.
Pada tahap ini akan didapatkan massa silika yang dihasilkan melalui sintesis pasir zeolit. Massa zeolit yang diperoleh berpengaruh pada pembentukan porositas membran dan ketebalan membran.
2. Pembentukan membran.
Pada tahap ini akan terjadi proses pembuatan membran hingga proses pencetakan membran, sehingga diperoleh membran dengan berbagai variasi massa. Variasi massa tersebut akan berpengaruh terhadap ketebalan membran dan porositas yang dihasilkan. Membran yang selesai dicetak kemudian akan digunakan untuk pengujian reaktor.
3. Karakterisasi membran.
Karakterisasi membran berupa analisis morfologi membran untuk melihat permukaan membran dan substruktur pori membran serta elemen lain yang termasuk morfologi membran dengan menggunakan alat SEM-EDX.
4. Pengujian membran dalam reaktor.
Pada tahap ini, data yang diperoleh berupa fluks, nilai rejeksi, massa zeolit paling optimum, tekanan pada operasi, waktu operasi dengan variasi massa zeolit dan perbandingan volume limbah dengan air PDAM. Data yang diperoleh dari penelitian ini kemudian dimasukkan ke dalam persamaan nilai fluks, nilai rejeksi dan grafik hubungan antara nilai rejeksi dan waktu operasi pada masing-masing variabel massa dan perbandingan konsentrasi.

5. Analisis karakteristik sampel dan *permeate*.

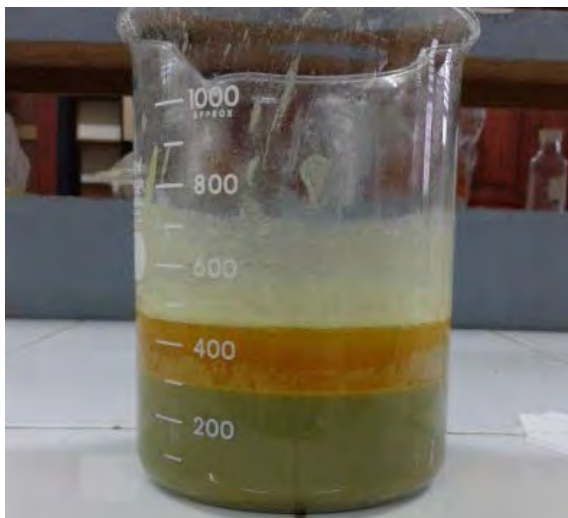
Analisis kualitas air diperlukan untuk membandingkan *permeate* yang dihasilkan dengan kualitas air mula-mula. Dari hasil pengujian tersebut selanjutnya akan dihitung nilai rejeksi untuk kekeruhan, minyak dan lemak. Nilai rejeksi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.2.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Sintesis Zeolit

Pembuatan membran zeolit ini diawali dengan proses sintesis zeolit yang dimaksudkan agar memperoleh zeolit murni sebagai bahan baku membran. Proses sintesis zeolit ini diawali dengan proses pencucian pasir zeolit berukuran 200 mesh dengan menggunakan larutan HCl. Perendaman serbuk zeolit dalam HCl ini dilakukan selama 24 jam yang bertujuan untuk membuang senyawa pengotor selain SiO_2 sehingga dapat mengoptimalkan tahapan proses selanjutnya (Munasir *et al.*, 2011). Gambar 4.1 merupakan gambar yang menunjukkan saat zeolit direndam dalam larutan HCl.



Gambar 4.1 Zeolit yang direndam dalam HCl (Hasil penelitian, 2014)

Langkah selanjutnya adalah mengeringkan zeolit yang sudah direndam selama 24 jam dengan cara dioven untuk

menghilangkan kadar air dari zeolit tersebut. Sebelum dikeringkan, zeolit dicuci dengan aquades terlebih dahulu 5-7 kali untuk menghilangkan kadar HCl pada zeolit. Zeolit yang sudah kering dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Zeolit yang sudah kering (Hasil penelitian,2014)

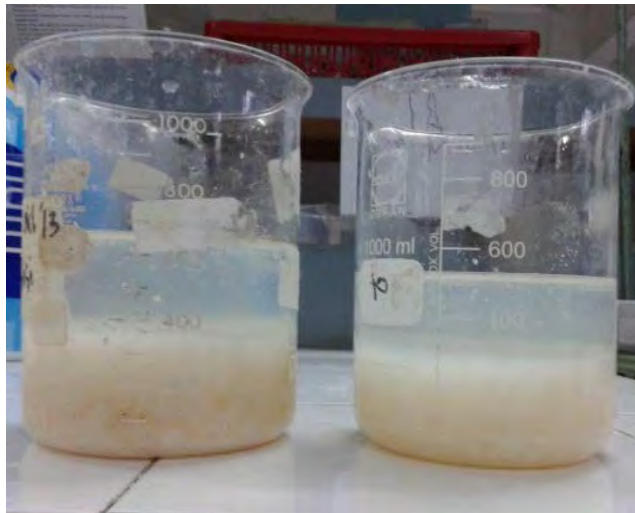
Setelah kering, kemudian zeolit dicampur dengan KOH dan difurnace pada suhu 550°C selama 2 jam. Pencampuran KOH ini dimaksudkan untuk membentuk pottasium silikat. Kepingan kalium hidroksida yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kalium Hidroksida (KOH) (Hasil penelitian, 2014)

Dalam proses sintesis zeolit ini terdiri dari 3 tahapan. Tahapan yang pertama yaitu preparasi pottasium silikat (K_2SO_3) dari pasir zeolit yang direaksikan dengan KOH. Potasium silikat terbentuk saat pembakaran di dalam furnace. Potasium silikat ini merupakan senyawa yang larut dalam air. Potasium silikat yang diperoleh pada tahap ini berupa padatan campuran pasir dan KOH yang berwarna hijau kekuningan.

Larutan potasium silikat didapatkan dengan merendam padatan hasil furnace dalam aquades. Larutan tersebut kemudian didiamkan selama 24 jam, supaya senyawa metal yang terbentuk mengendap di dasar beaker glass. Endapan senyawa metal yang terbentuk tidak dapat terlarut dikarenakan potasium silikat yang dihasilkan merupakan basa kuat dan senyawa metal tidak dapat terlarut dalam basa kuat (Mori, 2003). Larutan potasium silikat yang telah terbentuk dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Larutan potasium silikat (Hasil penelitian, 2014)

Tahapan yang kedua adalah preparasi pembentukan asam silikat ($Si(OH)_2$). Tahapan ini dilakukan dengan mentitrasi larutan

potasium silikat dengan asam kuat sambil dipanaskan pada suhu sekitar 50°C dan diaduk secara terus-menerus. Larutan tersebut dititrasi sampai dengan pH 1-2. Tahapan titrasi ini dihasilkan larutan dengan endapan putih dan warna larutan yang kekuningan. Larutan potasium silikat yang telah dititrasi ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Larutan potasium silikat yang telah dititrasi (Hasil penelitian, 2014)

Senyawa asam silikat yang terbentuk merupakan gel yang berwarna putih. Endapan asam silikat dapat dipisahkan dengan larutannya dikarenakan $\text{Si}(\text{OH})_4$ tidak dapat larut dalam asam kuat seperti HCl sehingga endapan $\text{Si}(\text{OH})_4$ dapat dipisahkan dengan larutannya. Tahapan selanjutnya adalah dengan melakukan pencucian pada larutan yang telah dititrasi dengan menggunakan aquades sebanyak 5-8 kali sampai endapan asam silikat yang terbentuk menjadi putih bersih. Pencucian ini dilakukan untuk menghilangkan garam KCl yang masih terdapat

dalam larutan. Garam KCl tersebut berwarna kekuningan. Gambar 4.6 menunjukkan endapan asam silikat yang telah dicuci.

Asam silikat yang telah dicuci kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring untuk memisahkan endapan dengan air. Setelah disaring, kemudian dioven pada suhu 110°C selama 24 jam untuk pembentukan senyawa SiO_2 .



Gambar 4.6 Endapan asam silikat (Hasil penelitian, 2014)

Asam silikat yang telah dioven selanjutnya digerus dengan menggunakan mortar untuk menghaluskan padatan yang terbentuk. Padatan asam silikat yang terbentuk berwarna putih kekuningan. Endapan asam silikat yang kering ditunjukkan oleh Gambar 4.7. Padatan ini yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan membran. Hal ini dikarenakan zeolit yang dihasilkan dari proses ini telah mengalami proses sintesis sehingga sudah terpisahkan dengan zat pengotornya maupun dengan senyawa lain.

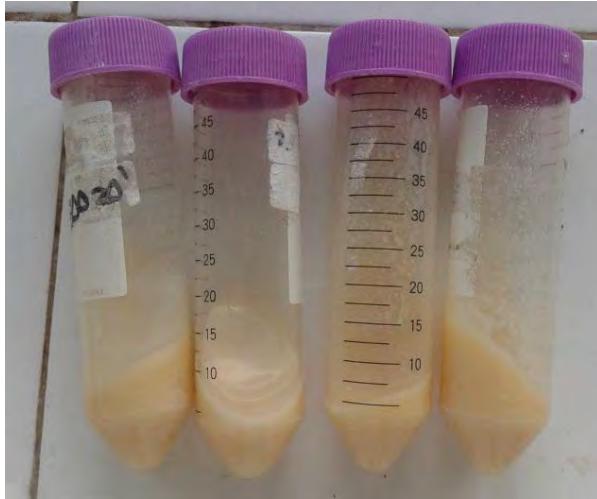


Gambar 4.7 Endapan asam silikat yang telah dikeringkan (Hasil penelitian, 2014)

4.2 Pembuatan Membran

Pada tahapan pembuatan membran ini, langkah awal yang dilakukan adalah menimbang zeolit sesuai dengan variasi massa yang telah ditentukan yaitu 3 dan 6 gram. Zeolit yang sudah ditimbang tersebut ditambahkan dengan 35 mL 2-propanol. Penambahan 2-propanol dimaksudkan supaya terbentuk membran dengan pori-pori yang lebih rapat (kecil) (Radiman dan Eka, 2007).

Campuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam botol *centrifuge*, kemudian disentrifugasi dalam kecepatan 600 rpm selama 10 menit. Proses sentrifugasi ini dimaksudkan untuk memisahkan partikel sesuai dengan massa jenisnya. Endapan yang dihasilkan pada proses sentrifugasi sebagaimana pada Gambar 4.8. Endapan tersebut berwarna kuning kecoklatan. Endapan tersebut diambil dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 400 mL.



Gambar 4.8 Endapan zeolit setelah proses sentrifugasi (Hasil penelitian, 2014)

Tahapan selanjutnya adalah menambahkan 3,5 gram NH_4Cl dan 300 aquades ke dalam erlenmeyer yang telah diisi dengan zeolit. Campuran tersebut kemudian diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam. Pengadukan ini ditujukan untuk menghomogenkan larutan sehingga larutan dapat tercampur dengan sempurna. Setelah proses pengadukan, larutan didiamkan terlebih dahulu. Hasil larutan zeolit yang telah diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* ditunjukkan oleh Gambar 4.9 berikut.

Tahapan selanjutnya adalah pencampuran zeolit, aquades, PVA (*Poly Vinil Alcohol*) dan PEG (*Poly Etylen Glicol*). PVA berbentuk butiran kristal berwarna putih sedangkan PEG berbentuk cairan kental berwarna kekuningan. Zeolit, PVA dan PEG kemudian dipanaskan sambil terus menerus diaduk supaya tercampur dengan sempurna. Penambahan PVA dimaksudkan untuk merekatkan zeolit sehingga terbentuk membran yang padat. PEG berfungsi untuk memperbesar pori membran dengan menjaga ketahanan membran terhadap faktor eksternal (Rosnelly,

2012). Teknik pembuatan membran ini disebut dengan teknik inversi fasa dimana terjadi difusi antara PEG, PVA dan zeolit oleh air yang menyebabkan terbentuknya pori membran.



Gambar 4.9 Zeolit setelah proses pengadukan (Hasil penelitian, 2014)

Adonan membran yang telah mengental dan tercampur sempurna selanjutnya dituangkan ke dalam cawan petri berdiameter 3,5 cm. Selanjutnya, membran yang telah dituangkan dalam cawan petri tersebut didiamkan selama 30 jam supaya hilang kadar airnya. Membran yang dicetak pada cawan petri ditunjukkan pada Gambar 4.10.

Setelah dikeringkan selama 30 jam, maka membran akan kering. Membran yang sudah kering berwarna kuning kecoklatan, halus permukaannya dan lentur. Membran yang terbentuk berdiameter 3,5 cm. Membran yang sudah kering dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Pencetakan membran dalam cawan petri (Hasil penelitian, 2014)



Gambar 4.11 Membran yang siap digunakan (Hasil penelitian, 2014)

4.3 Analisa Karakteristik Awal Limbah Rumah Makan

Limbah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah limbah rumah makan dari rumah makan XYZ di Kota Surabaya. Parameter limbah yang akan diuji adalah kekeruhan, minyak dan lemak. Parameter kekeruhan, minyak dan lemak akan dianalisis

terlebih dahulu untuk mengetahui besarnya nilai awal kekeruhan dan konsentrasi minyak dan lemak. Nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai kekeruhan dan nilai minyak dan lemak akhir untuk mengetahui nilai rejeksi membran zeolit.

Variasi konsentrasi air limbah yang digunakan adalah 100%, 75% dan 50%. Untuk mendapatkan konsentrasi air limbah ini, pada variasi 75% dan 50% ditambahkan air PDAM sesuai dengan perbandingan.

- a. Pada variasi konsentrasi 100%, air limbah yang digunakan merupakan air limbah rumah makan 100%
- b. Pada variasi konsentrasi 75%, air limbah yang digunakan merupakan campuran air limbah rumah makan dengan air PDAM dengan perbandingan 3:1
- c. Pada variasi konsentrasi 50%, air limbah yang digunakan merupakan campuran air limbah rumah makan dengan air PDAM dengan perbandingan 1:1

Metode yang digunakan untuk menganalisis kekeruhan adalah dengan menggunakan metode turbidimetri. Sedangkan metode yang digunakan untuk menganalisis minyak dan lemak adalah metode gravimetri.

4.3.1 Analisis Kekeruhan

Air limbah yang akan digunakan sebagai larutan *feed* pada reaktor akan dianalisis kadar kekeruhan awalnya dengan menggunakan alat turbidimeter. Hasil analisis nilai kekeruhan awal pada variasi konsentrasi limbah rumah makan dapat dilihat pada Tabel 4.1. Tabel 4.1 menjelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi limbah maka semakin tinggi nilai kekeruhan pada limbah tersebut.

Tabel 4.1 Nilai Kekeruhan Awal Limbah Rumah Makan

Konsentrasi	Kekeruhan
100%	672 NTU
75%	250 NTU
50%	160 NTU

Sumber : Hasil penelitian, 2014

4.3.2 Analisis Minyak dan Lemak

Konsentrasi minyak dan lemak dari limbah rumah makan ini dianalisis dengan menggunakan metode gravimetri. Hasil analisis awal konsentrasi minyak dan lemak pada variasi konsentrasi air limbah ditunjukkan pada Tabel 4.2. Berdasarkan Tabel 4.2, didapatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi pada air limbah maka semakin tinggi nilai konsentrasi minyak dan lemak pada air limbah.

Tabel 4.2 Konsentrasi Minyak dan Lemak Awal Limbah Rumah Makan

Konsentrasi	Konsentrasi Minyak dan Lemak
100%	19228 mg/L
75%	16864 mg/L
50%	9884 mg/L

Sumber : Hasil penelitian, 2014

4.4 Pengujian Membran dalam Reaktor

Membran yang telah siap digunakan akan diuji dengan menggunakan reaktor *cross-flow* untuk mengetahui kemampuan rejeksi terhadap kekeruhan, minyak dan lemak pada limbah rumah makan. Selain itu, pengujian ini juga digunakan untuk mengetahui nilai fluks membran tersebut. penggunaan reaktor aliran *cross-flow* ini adalah untuk mencegah terjadinya *fouling* yang lebih cepat pada membran saat pengujian.

Waktu yang digunakan untuk pengujian membran untuk variasi massa dan konsentrasi limbah adalah 80 menit dengan waktu pengambilan selama 20 menit sekali. Penentuan waktu pengambilan *permeate* ini didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Maharani dan Damayanti (2013), bahwa nilai fluks pada membran nanofiltrasi menjadi relatif konstan pada menit ke-80. Hal ini dimungkinkan telah terjadi polarisasi konsentrasi pada permukaan membran. Polarisasi konsentrasi adalah meningkatnya konsentrasi lokal yaitu di area permukaan membran sehingga terbentuknya lapisan yang menyebabkan volume *permeate* berkurang, sehingga mengakibatkan fluks yang

terjadi konstan. Reaktor yang akan digunakan dalam pengujian ini terdiri dari rangkaian pompa, pipa, *valve* dan *pressure gauge*. Membran yang sudah siap diuji dipasang dalam reaktor dan disangga dengan menggunakan kasa stainless steel dan ditutup dengan *water mur* untuk mencegah kebocoran pada membran.

Langkah selanjutnya adalah menjalankan reaktor sehingga mencapai tekanan 5 bar yaitu tekanan minimal yang dibutuhkan dalam pengoperasian membran nanofiltrasi. Tekanan yang sedang beroperasi dapat dilihat pada manometer yang telah dipasang sebelumnya. Reaktor ini bekerja dengan mengalirkan air limbah secara sejajar melewati membran. Air limbah yang melewati membran yang selanjutnya disebut *permeate* ditampung dengan menggunakan wadah plastik supaya mudah untuk dianalisis. Air limbah yang tidak melewati membran yang disebut dengan *retentate* akan dialirkan kembali ke dalam bak penampungan limbah oleh *by pass*.

4.5 Hasil Pengujian Membran pada Variasi Massa Zeolit dan Konsentrasi Air Limbah

Hasil yang didapatkan dari pengujian membran zeolit dalam reaktor *cross-flow* adalah kemampuan rejeksi membran terhadap kekeruhan, minyak dan lemak, selain itu juga nilai fluks membran. Nilai fluks dan kemampuan rejeksi suatu membran merupakan salah satu parameter untuk mengetahui performa membran.

4.5.1 Pengaruh Massa Zeolit pada Nilai Fluks Membran pada Variasi Konsentrasi Limbah

Fluks membran merupakan salah satu faktor utama dalam performa membran. Fluks menjadi parameter penting dalam penentuan kinerja membran, berperan penting dalam menentukan biaya *maintenance* dan operasional secara keseluruhan. Fluks menurut Mulder (1996), merupakan jumlah volume *permeate* yang melewati satu satuan permukaan luas membran dengan

waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan.

Luasan membran didapatkan dari pengukuran luas area membran yang dilewati larutan air limbah. Luasan membran yang dilewati air limbah berdiameter 3 cm. Pengambilan *permeate* pada pengujian ini adalah setiap 20 menit dan dilakukan selama 80 menit. Dari pengujian tersebut didapatkan data nilai fluks membran pada konsentrasi limbah 100% sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai Fluks pada Konsentrasi Limbah 100%

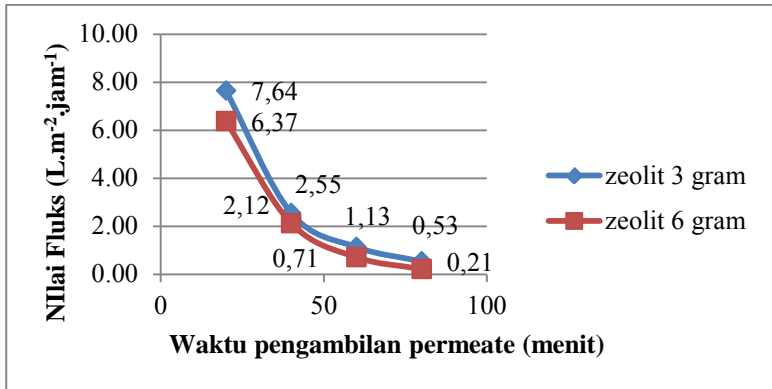
Menit ke	Volume (mL)		Fluks ($\text{L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$)	
	3 gram	6 gram	3 gram	6 gram
20	18	15	7,64	6,37
40	12	10	2,55	2,12
60	8	5	1,13	0,71
80	5	2	0,53	0,21
rata-rata			2,96	2,35

Sumber : Hasil penelitian, 2014

Nilai fluks membran dengan variasi zeolit 3 gram pada menit ke 20, 40, 60 dan 80 berturut-turut adalah $7,64 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $2,55 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $1,13 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; dan $0,53 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$, sedangkan untuk membran dengan variasi zeolit 6 gram adalah $6,37 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $2,12 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $0,71 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$ dan $0,21 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$. Data tersebut menunjukkan bahwa nilai fluks tertinggi pada konsentrasi limbah 100% adalah pada menit ke 20 pada membran 3 gram yaitu sebesar $7,64 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$.

Grafik nilai fluks membran pada konsentrasi limbah 100% ditunjukkan pada Gambar 4.12. Pada Gambar 4.12, diketahui bahwa selisih penurunan nilai fluks membran dengan zeolit 3 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah $5,10 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; pada rentang waktu 40-60 menit adalah $1,42 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 0,60. Selisih

penurunan nilai fluks membran dengan zeolit 6 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah $4,25 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; pada rentang waktu 40-60 menit adalah $1,42 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah $0,50 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$.



Gambar 4.12 Grafik Nilai Fluks Konsentrasi Limbah 100% (Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa selisih penurunan nilai fluks yang terbesar baik pada membran dengan zeolit 3 gram maupun 6 gram adalah pada rentang waktu 20-40 menit. Pada rentang waktu 20-40 menit, partikel yang tertahan pada permukaan membran masih sedikit sehingga lapisan *cake* yang terbentuk masih sedikit. Semakin bertambahnya waktu operasi, maka laju pembentukan lapisan *cake* semakin besar yang mengakibatkan selisih nilai fluks yang dihasilkan semakin kecil. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Maharani dan Damayanti (2013) dimana seiring bertambahnya waktu operasi maka nilai fluks yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini dikarenakan seiring bertambahnya waktu operasi maka semakin banyak pula partikel – partikel yang tertahan pada permukaan membran.

Besarnya selisih penurunan nilai fluks membran berbeda antara membran dengan zeolit 3 gram dan 6 gram. Hal ini

diakibatkan adanya pengaruh komposisi zeolit terhadap nilai fluks membran yang dihasilkan. Membran dengan zeolit 3 g ram memiliki penurunan nilai fluks yang lebih besar apabila dibandingkan dengan membran dengan zeolit 6 g ram. Hal ini dikarenakan pada komposisi zeolit pada membran 6 gram lebih banyak sehingga zeolit tersebut ikut berperan dalam proses filtrasi yang terjadi pada membran.

Nilai fluks membran untuk konsentrasi limbah 75% ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai Fluks pada Konsentrasi Limbah 75%

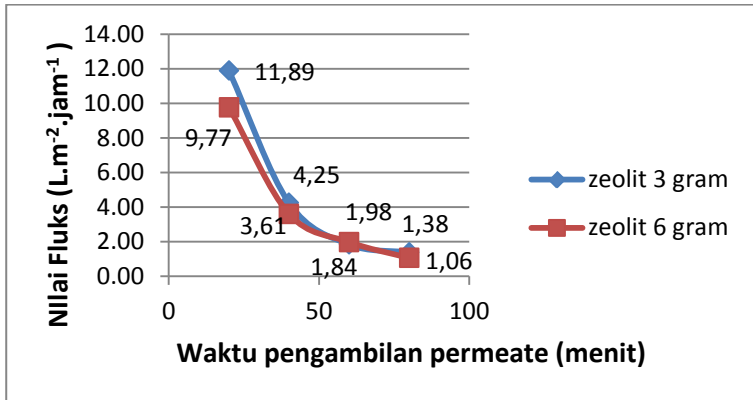
Menit ke	Volume (mL)		Fluks ($\text{L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$)	
	3 gram	6 gram	3 gram	6 gram
20	28	23	11,89	9,77
40	20	17	4,25	3,61
60	13	14	1,84	1,98
80	13	10	1,38	1,06
rata-rata			4,84	4,10

Sumber : Hasil penelitian, 2014

Nilai fluks membran dengan variasi zeolit 3 gram pada menit ke 20, 40, 60 dan 80 berturut-turut adalah $11,89 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $4,25 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $1,84 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; dan $1,38 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$, sedangkan untuk membran dengan variasi zeolit 6 gram adalah $9,77 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $3,61 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $1,98 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$ dan $1,06 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$. Data tersebut menunjukkan bahwa nilai fluks tertinggi pada konsentrasi limbah 75% adalah pada menit ke 20 pada membran 3 gram yaitu sebesar $11,89 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$.

Grafik nilai fluks membran pada konsentrasi limbah 75% ditunjukkan pada Gambar 4.13. Pada Gambar 4.13 diketahui bahwa selisih penurunan nilai fluks membran dengan zeolit 3 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah $7,64 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; pada rentang waktu 40-60 menit adalah $2,41 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah $0,46 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$.

jam^{-1} . Selisih penurunan nilai fluks membran dengan zeolit 6 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah $6,16 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; pada rentang waktu 40-60 menit adalah $1,63 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah $0,92 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$.



Gambar 4.13 Grafik Nilai Fluks Konsentrasi Limbah 75% (Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa selisih penurunan nilai fluks yang terbesar baik pada membran dengan zeolit 3 gram maupun 6 gram adalah pada rentang waktu 20-40 menit. Hal ini disebabkan pada rentang waktu tersebut belum terjadi *fouling*. Zat-zat pengotor yang menempel pada membran masih sedikit dan masih bisa tersapu oleh aliran air limbah pada reaktor. Namun, seiring dengan pertambahan waktu nilai fluks semakin menurun yang dikarenakan semakin menumpuknya zat pengotor yang memperkecil pori pada membran. Semakin kecil pori maka akan menyebabkan kinerja membran semakin berat dan menghasilkan penurunan nilai fluks (Puspayana dan Damayanti, 2013).

Besarnya selisih penurunan nilai fluks membran berbeda antara membran dengan zeolit 3 gram dan 6 gram. Hal ini

diakibatkan adanya pengaruh komposisi zeolit terhadap nilai fluks membran yang dihasilkan. Nilai fluks yang tertinggi adalah pada membran dengan variasi massa zeolit 3 gram. Hal ini dapat disebabkan oleh komposisi zeolit pada membran. Berdasarkan penelitian Akbar (2010), zeolit alam pada dasarnya memiliki kemampuan untuk memisahkan zat berdasarkan ukuran partikelnya, sehingga semakin sedikit komposisi zeolit pada membran maka semakin banyak fluks yang dihasilkan karena jumlah zat yang tertahan pada membran zeolit tersebut semakin sedikit.

Nilai fluks membran untuk konsentrasi limbah 50% dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai Fluks pada Konsentrasi Limbah 50%

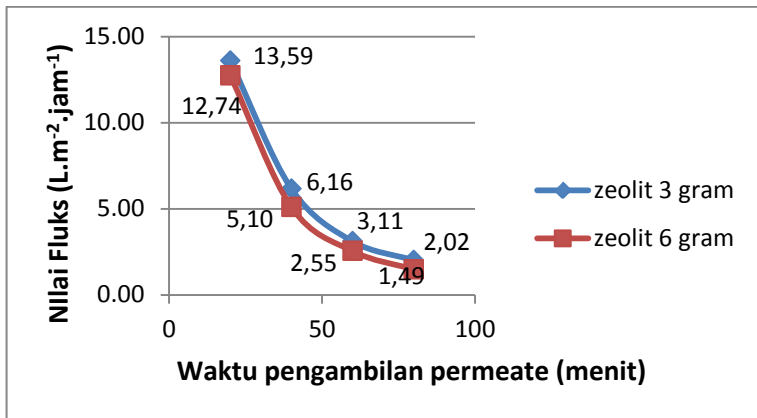
Menit ke	Volume (mL)		Fluks ($\text{L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$)	
	3 gram	6 gram	3 gram	6 gram
20	32	30	13,59	12,74
40	29	24	6,16	5,10
60	22	18	3,11	2,55
80	19	14	2,02	1,49
rata-rata			6,22	5,47

Sumber : Hasil penelitian, 2014

Nilai fluks membran dengan variasi zeolit 3 gram pada menit ke 20, 40, 60 dan 80 berturut-turut adalah $13,59 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $6,16 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $3,11 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; dan $2,02 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$, sedangkan untuk membran dengan variasi zeolit 6 gram adalah $12,74 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $5,10 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $2,55 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$ dan $1,49 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$. Data tersebut menunjukkan bahwa nilai fluks tertinggi pada konsentrasi limbah 50% adalah pada menit ke 20 pada membran 3 gram yaitu sebesar $13,59 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$.

Grafik nilai fluks membran pada konsentrasi limbah 50% ditunjukkan pada Gambar 4.14. Pada Gambar 3.14 diketahui bahwa selisih penurunan nilai fluks membran dengan zeolit 3

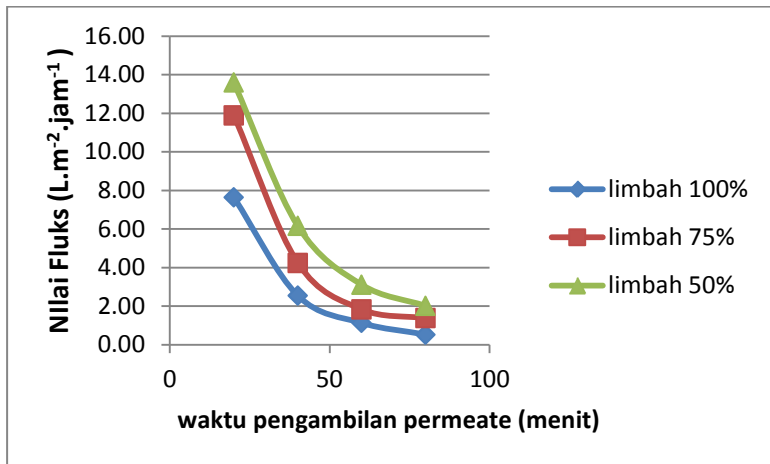
gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah $7,43 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; pada rentang waktu 40-60 menit adalah $3,04 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah $1,10 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$. Selisih penurunan nilai fluks membran dengan zeolit 6 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah $7,64 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; pada rentang waktu 40-60 menit adalah $2,55 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah $1,06 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$.



Gambar 4.14 Grafik Nilai Fluks Konsentrasi Limbah 50% (Hasil Penelitian, 2014)

Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa selisih penurunan nilai fluks yang terbesar baik pada membran dengan zeolit 3 gram maupun 6 gram adalah pada rentang waktu 20-40 menit. Pada rentang waktu 20-40 menit, zat-zat pengotor yang menempel di permukaan membran masih sedikit. Selain itu, zat-zat pengotor tersebut masih bisa tersapu oleh aliran air limbah yang beroperasi sehingga nilai fluks masih tinggi. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Aufiyah dan Damayanti (2013) bahwa nilai fluks akan tinggi pada permulaan pengoperasian membran dan semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu pengoperasian membran.

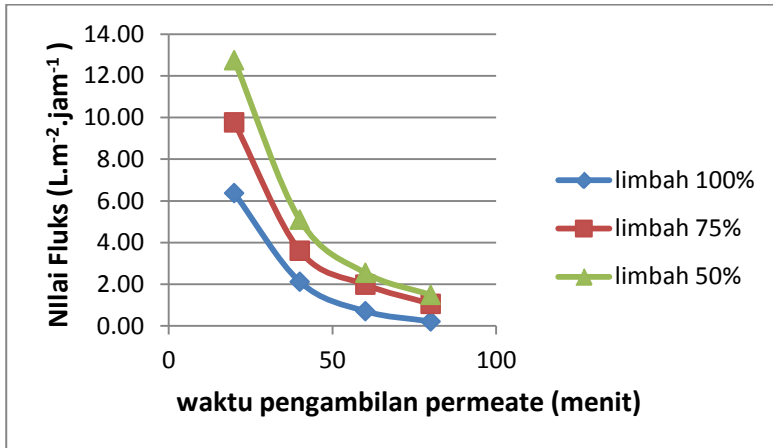
Pada Gambar 4.15 merupakan grafik nilai fluks berdasarkan variasi konsentrasi pada membran dengan variasi zeolit 3 gram, sedangkan pada Gambar 4.16 merupakan grafik nilai fluks pada variasi konsentrasi limbah pada membran dengan variasi zeolit 6 gram.



Gambar 4.15 Grafik Nilai Fluks dengan Variasi Konsentrasi Limbah pada Membran 3 gram (Hasil penelitian, 2014)

Dari Gambar 4.15 dan 4.16, didapatkan bahwa nilai fluks membran akan menurun dengan semakin bertambahnya konsentrasi limbah. Semakin lama waktu operasi, maka partikel yang tertahan oleh membran semakin banyak yang akan membentuk penumpukan partikel (lapisan *cake*). Hal ini berakibat pada mengecilnya pori yang terbentuk sehingga fluks yang dihasilkan semakin kecil (Nur *et al.*, 2013). Konsentrasi limbah (*feed*) yang melewati membran juga mempengaruhi kinerja membran dikarenakan beban filtrasi yang berbeda. Variasi konsentrasi limbah berbanding terbalik dengan nilai fluks. Artinya, semakin besar konsentrasi air limbah maka semakin kecil fluks yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh

menumpuknya zat terlarut pada permukaan membran yang dapat membentuk lapisan gel ini dapat menurunkan nilai fluks permeate yang melewati membran. Penurunan nilai fluks ini disebabkan karena adanya tekanan osmotik di daerah tempat lapisan gel terbentuk meningkat (Azfah *et al.*, 2012).



Gambar 4.16 Grafik Nilai Fluks dengan Variasi Konsentrasi Limbah pada Membran 6 gram (Hasil penelitian, 2014)

Hasil yang didapatkan juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Notodarmojo *et al.* (2004), membran yang dialiri dengan air limbah yang telah mengalami *pre-treatment* akan menghasilkan fluks yang lebih besar dikarenakan konsentrasi zat yang dikandungnya lebih sedikit dibandingkan limbah yang tidak dilakukan *pre-treatment*. Konsentrasi air limbah yang mengalami *pre-treatment* lebih kecil apabila dibandingkan dengan konsentrasi air limbah yang tidak mengalami *pre-treatment*.

Berdasarkan data yang diperoleh bahwa nilai fluks rata-rata dari limbah dengan konsentrasi 100% adalah 2,96 dan 2,35 L.m⁻².jam⁻¹. Sedangkan pada variasi konsentrasi limbah 75% dan 50%, masing-masing nilai fluksnya adalah 4,84 L.m⁻².jam⁻¹; 4,10 L.m⁻².jam⁻¹.

$^2.\text{jam}^{-1}$ dan $6,22 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$; $5,47 \text{ L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$. Mulder (1996) menyatakan bahwa kisaran nilai fluks membran nanofiltrasi adalah $1,4 - 12 \text{ L/m}^2$ pada kisaran tekanan $5,0 - 20, 0 \text{ atm}$. Dari pernyataan tersebut, dapat disimpulkan bahwa membran yang digunakan pada penelitian ini merupakan membran nanofiltrasi karena nilai fluks pada membran tersebut masuk ke dalam kisaran nilai fluks membran nanofiltrasi.

4.5.2 Pengaruh Massa Zeolit pada Rejeksi Kekeruhan pada Variasi Konsentrasi Limbah

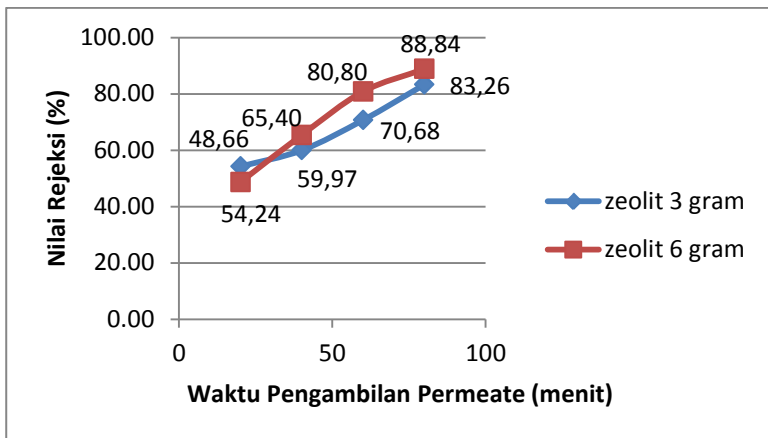
Pada pengujian *permeate* membran untuk parameter kekeruhan digunakan alat turbidimeter. Nilai kekeruhan tersebut kemudian dihitung dengan menggunakan rumus untuk memperoleh nilai rejeksinya. Persamaan yang digunakan adalah Persamaan 2.2. Perhitungan dengan persamaan tersebut merupakan perbandingan nilai kekeruhan awal dan nilai kekeruhan akhir. Apabila membran memiliki nilai rejeksi 100%, maka membran mengalami rejeksi sempurna artinya semakin bagus kualitas *permeate* yang dihasilkan, begitu juga dengan sebaliknya. Nilai rejeksi merupakan salah satu parameter untuk menentukan performa membran.

Nilai rejeksi membran pada variasi konsentrasi air limbah 100% ditunjukkan pada Tabel 4.6. Nilai kekeruhan air limbah 100% awal adalah 672 NTU, kemudian pada menit ke 20, 40, 60 dan 80 pada membran 3 gram mengalami rejeksi masing-masing sebesar 48,66%; 59,97%; 70,68% dan 83,26%, sedangkan pada membran 6 gram adalah 54,24%; 65,40%; 80,80% dan 88,84%. Nilai rejeksi kekeruhan tertinggi pada variasi konsentrasi limbah 100% adalah pada membran dengan variasi massa zeolit 6 gram pada menit ke-80, yaitu sebesar 88,84 %. Grafik nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 100% ditunjukkan pada Gambar 4.17.

Tabel 4. 6 Nilai Rejeksi Kekeruhan pada Konsentrasi Limbah 100%

Menit ke	Zeolit 3 gram			Zeolit 6 gram		
	Nilai kekeruhan (NTU)		Rejeksi (%)	Nilai kekeruhan (NTU)		Rejeksi (%)
	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
20	672	307,5	54,24	672	345	48,66
40	672	269	59,97	672	232,5	65,40
60	672	197	70,68	672	129	80,80
80	672	112,5	83,26	672	75	88,84

Sumber : Hasil penelitian, 2014



Gambar 4.17 Grafik Nilai Rejeksi Kekeruhan pada Konsentrasi Limbah 100% (Hasil Penelitian, 2014)

Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan dengan zeolit 3 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 5,73; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 10,71; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 12,57. Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap

kekeruhan zeolit 6 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 16,74; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 15,40; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 8,04. Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan yang terbesar pada membran dengan zeolit 3 gram adalah pada rentang waktu 60-80 menit, sedangkan pada membran dengan zeolit 6 gram adalah pada rentang waktu 20-40 menit. Perbedaan peningkatan nilai rejeksi tersebut dipengaruhi oleh laju pembentukan lapisan *cake* pada permukaan membran. Semakin besar selisih peningkatan nilai rejeksi maka semakin tinggi pula laju pembentukan lapisan *cake* pada permukaan membran tersebut. Semakin tebal lapisan *cake* yang terbentuk maka akan memperkecil pori membran yang akan meningkatkan nilai rejeksi suatu membran. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rachmawati dan Damayanti (2013). Nilai rejeksi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pengoperasian membran. Hal ini disebabkan semakin banyak partikel yang tertahan di permukaan membran sehingga membentuk *filter cake* dan membuat pori-pori membran semakin kecil. Semakin kecil pori-pori membran maka semakin besar nilai rejeksi suatu membran.

Besarnya selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan berbeda antara membran dengan zeolit 3 gram dan 6 gram. Membran dengan massa zeolit 6 gram memiliki peningkatan nilai rejeksi yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan membran dengan massa zeolit 3 gram. Hal ini diakibatkan adanya pengaruh komposisi zeolit terhadap nilai rejeksi membran. Semakin banyak komposisi zeolit pada membran maka akan semakin banyak partikel yang tertahan oleh membran dikarenakan kemampuan zeolit dapat memisahkan partikel berdasarkan ukuran partikelnya (Akbar, 2010).

Nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 75%, dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Nilai Rejeksi Kekeruhan pada Konsentrasi Limbah 75%

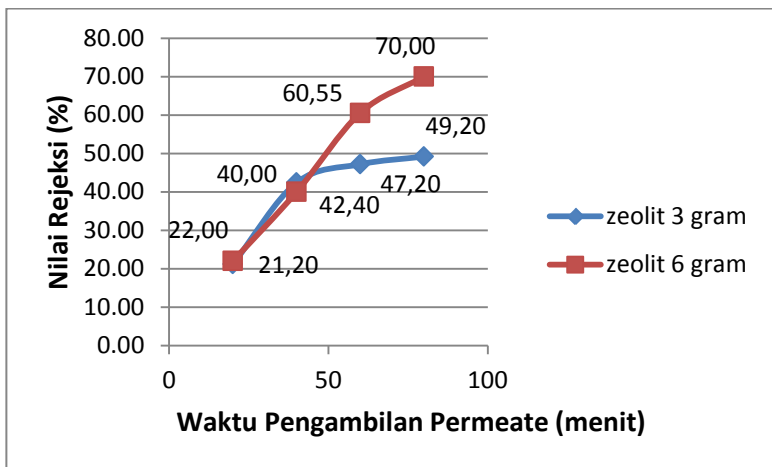
Menit ke	Zeolit 3 gram			Zeolit 6 gram		
	Nilai kekeruhan (NTU)		Rejeksi (%)	Nilai kekeruhan (NTU)		Rejeksi (%)
	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
20	250	197	21,20	250	195	22,00
40	250	144	42,40	250	150	40,00
60	250	132	47,20	250	98,625	60,55
80	250	127	49,20	250	75	70,00

Sumber : Hasil penelitian, 2014

Nilai kekeruhan air limbah 75% awal adalah 250 NTU, kemudian pada menit ke 20, 40, 60 dan 80 pada membran 3 gram mengalami rejeksi masing-masing sebesar 21,20%; 40,00%; 47,20% dan 49,20%, sedangkan pada membran 6 gram adalah 22,00%; 42,40%; 60,55% dan 70,00%. Nilai rejeksi kekeruhan terbesar pada konsentrasi limbah 75% adalah pada membran dengan variasi massa zeolit 6 gram yaitu sebesar 70%.

Grafik nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 75% ditunjukkan pada Gambar 4.18. Pada Gambar 4.18 dapat diketahui bahwa selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan dengan zeolit 3 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 21,20; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 4,80; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 2,00. Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan zeolit 6 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 18,00; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 20,55; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 9,45. Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan yang terbesar pada membran dengan zeolit 3 gram adalah pada rentang waktu 20-40 menit, sedangkan pada membran dengan zeolit 6

gram adalah pada rentan waktu 40-60 menit. Perbedaan peningkatan nilai rejeksi tersebut dikarenakan adanya perbedaan laju pembentukan lapisan *cake* pada permukaan membran. Aufiyah dan Damayanti (2013) menjelaskan bahwa partikel yang terkandung dalam air limbah akan secara bertahap menempel pada permukaan membran. Partikel-partikel tersebut menyebabkan pori membran mengalami penyempitan, sehingga nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan akan semakin meningkat.



Gambar 4.18 Grafik Nilai Rejeksi Kekeruhan pada Konsentrasi Limbah 75% (Hasil Penelitian, 2014)

Nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 50%, dapat dilihat pada Tabel 4.8. Nilai kekeruhan air limbah 50% awal adalah 160 NTU, kemudian pada menit ke 20, 40, 60 dan 80 pada membran dengan variasi zeolit 3 gram mengalami rejeksi masing-masing sebesar 45,94%; 52,81%; 60,31% dan 63,13%, sedangkan pada membran dengan variasi zeolit 6 gram adalah 31,56%; 69,34%; 72,66% dan 77,50%. Nilai rejeksi yang tertinggi pada

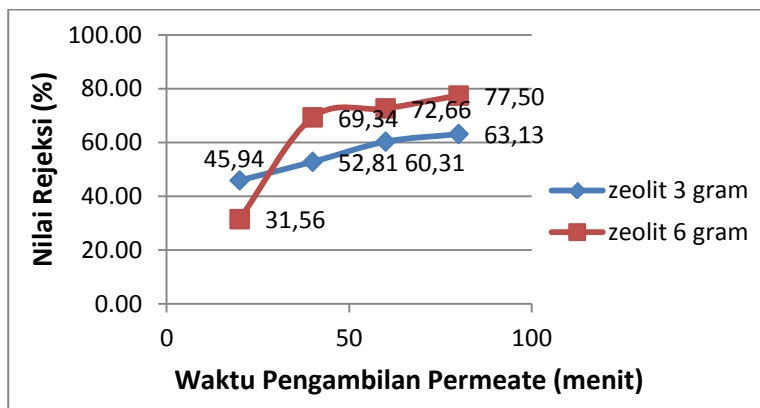
konsentrasi 50% adalah pada membran dengan variasi massa 6 gram yaitu sebesar 77,50%.

Tabel 4. 8 Nilai Rejeksi Kekeruhan pada Konsentrasi Limbah 50%

Menit ke	Zeolit 3 gram			Zeolit 6 gram		
	Nilai kekeruhan (NTU)		Rejeksi (%)	Nilai kekeruhan (NTU)		Rejeksi (%)
	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
20	160	86,5	45,94	160	109,5	31,56
40	160	75,5	52,81	160	49,05	69,34
60	160	63,5	60,31	160	43,75	72,66
80	160	59	63,13	160	36	77,50

Sumber : Hasil penelitian, 2014

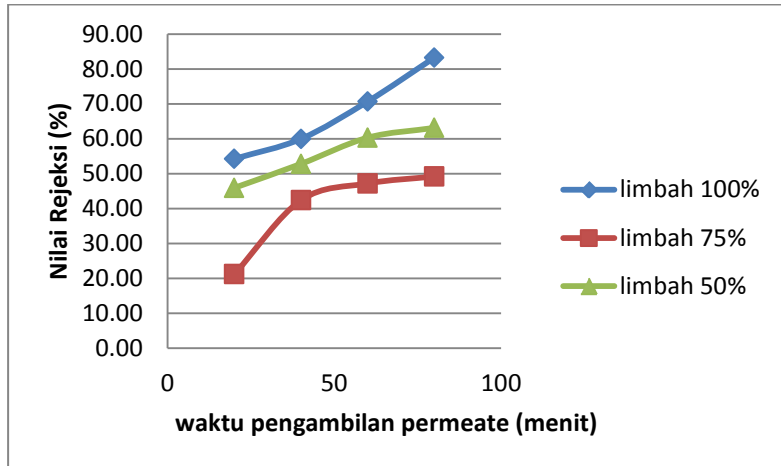
Grafik nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 50% ditunjukkan pada Gambar 4.19.



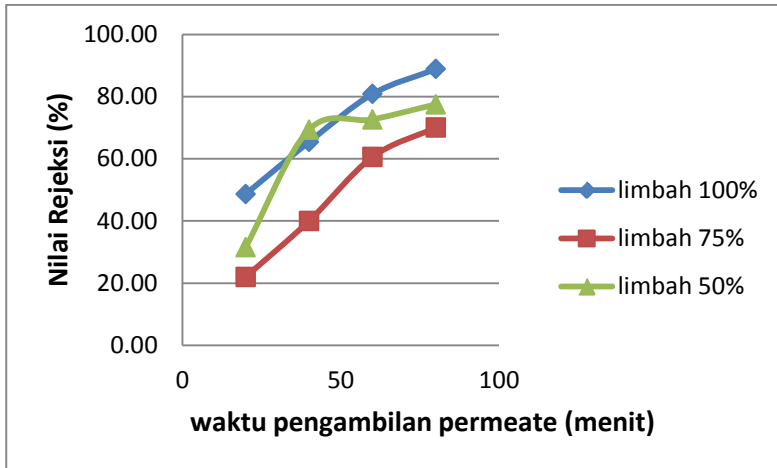
Gambar 4.19 Grafik Nilai Rejeksi Kekeruhan pada Konsentrasi Limbah 50% (Hasil Penelitian, 2014)

Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan dengan zeolit 3 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 6,87; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 7,50; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 2,81. Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan zeolit 6 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 37,78; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 3,31; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 4,84. Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan yang terbesar pada membran dengan zeolit 3 gram adalah pada rentang waktu 40-60 menit, sedangkan pada membran dengan zeolit 6 gram adalah pada rentan waktu 20-40 menit.

Gambar 4.20 merupakan grafik perbandingan nilai rejeksi terhadap kekeruhan pada variasi konsentrasi pada variasi massa 3 gram, sedangkan pada variasi massa 6 gram dapat dilihat pada Gambar 4.21



Gambar 4.20 Nilai Rejeksi Kekeruhan pada Variasi Konsentrasi pada Massa Zeolit 3 gram



Gambar 4.21 Nilai Rejeksi Kekeruhan pada Variasi Konsentrasi pada Massa Zeolit 6 gram

Berdasarkan pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21, dapat dilihat bahwa nilai rejeksi membran akan semakin meningkat seiring dengan pertambahan waktu operasi, baik itu pada konsentrasi limbah 100%, 75% maupun 50%. Hal ini dapat disebabkan semakin lamanya waktu operasi, *fouling* yang terjadi pada permukaan maupun di dalam membran juga semakin meningkat, dan membuat semakin banyak *cake* yang terbentuk pada permukaan membran. *Cake* akan berperan sebagai filter tambahan untuk menyaring air limbah sebelum terjadi kontak dengan permukaan membran. Hal ini akan membuat semakin sulitnya komponen organik untuk melewati membran sehingga nilai rejeksi meningkat (Karamah dan Lubis, 2000).

Membran yang mengalami nilai rejeksi paling tinggi adalah pada membran pada variasi konsentrasi limbah 100%. Hal ini dikarenakan laju pembentukan *cake* pada lapisan membran semakin cepat apabila dilewati dengan larutan *feed* yang mempunyai konsentrasi tinggi. Berdasarkan pada penelitian

Puspayana dan Damayanti (2013), semakin pekat atau keruh air limbah, maka zat pengotor yang akan menempel pada permukaan membran semakin banyak. Semakin banyak zat pengotor yang menempel pada permukaan membran maka akan terbentuk lapisan *cake* yang akan memperkecil ukuran membran dan membantu kinerja membran dalam merejeksi kekeruhan. Oleh karena itu, nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 100% lebih besar daripada nilai rejeksi membran pada konsentrasi 75% atau 50%.

Nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan yang paling tinggi adalah pada membran dengan variasi massa zeolit 6 gram. Hal ini dapat dipengaruhi oleh massa zeolit alam sebagai komposisi membran. Zeolit alam memiliki kemampuan memisahkan zat-zat tertentu berdasarkan ukuran partikelnya (Akbar, 2010), sehingga semakin banyak zeolit yang ditambahkan pada membran maka semakin banyak pula zat yang akan tertahan oleh membran yang akan meningkatkan nilai rejeksi membran tersebut. Massa terbaik zeolit pada pembuatan membran adalah 6 gram dikarenakan nilai rejeksi yang paling tinggi terdapat pada membran dengan zeolit 6 gram.

4.5.3 Pengaruh Massa Zeolit pada Rejeksi Minyak dan Lemak pada Variasi Konsentrasi Limbah

Pada pengujian *permeate* membran untuk parameter minyak dan lemak digunakan metode gravimetri. Pada metode gravimetri dalam pengukuran minyak dan lemak ini yang pertama dilakukan adalah mencampur larutan sampel dengan pelarut dan dikocok dengan kuat. Minyak dan lemak yang sudah terlarut dalam pelarut ditempatkan pada labu destilasi kemudian dipanaskan sehingga keseluruhan pelarut menguap. Kandungan minyak dan lemak diperoleh dari hasil timbangan awal dan akhir pada labu destilasi.

Konsentrasi minyak dan lemak pada setiap 20 menit tersebut kemudian dihitung dengan menggunakan rumus untuk memperoleh nilai rejeksinya. Persamaan yang digunakan adalah

Persamaan 2.2. Perhitungan dengan persamaan tersebut merupakan perbandingan konsentrasi minyak dan lemak awal dan konsentrasi minyak dan lemak akhir. Nilai rejeksi membran pada variasi konsentrasi air limbah 100% ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak pada Konsentrasi Limbah 100%

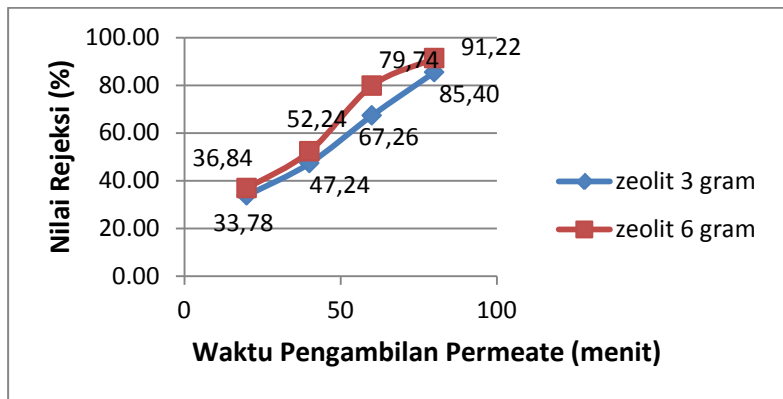
Menit ke	Zeolit 3 gram			Zeolit 6 gram		
	Konsentrasi (mg/L)		Rejeksi (%)	Konsentrasi (mg/L)		Rejeksi (%)
	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
20	19228	12732	33,78	19228	12144	36,84
40	19228	10144	47,24	19228	9184	52,24
60	19228	6296	67,26	19228	3896	79,74
80	19228	2808	85,40	19228	1688	91,22

Sumber : Hasil penelitian, 2014

Konsentrasi minyak dan lemak air limbah 100% awal adalah 19228 mg/L, kemudian pada menit ke 20, 40, 60 dan 80 pada membran dengan variasi zeolit 3 gram mengalami rejeksi masing-masing sebesar 33,78%; 47,24%; 67,26% dan 85,40%, sedangkan pada membran dengan variasi zeolit 6 gram adalah 36,84%; 52,24%; 79,74% dan 91,22%.

Grafik nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 100% ditunjukkan pada Gambar 4.22. Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap minyak dan lemak dengan zeolit 3 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 13,46; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 20,01; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 18,14. Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan zeolit 6 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 15,39; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 27,50; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 11,48. Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi

membran terhadap kekeruhan yang terbesar baik pada membran dengan zeolit 3 gram maupun 6 gram adalah pada rentang waktu 40-60 menit. Hal ini dikarenakan pada rentang waktu tersebut, partikel yang tertahan oleh membran semakin banyak sehingga akan membentuk lapisan *cake*. Lapisan *cake* pada permukaan ini akan membuat pori-pori membran semakin kecil sehingga akan memperbesar nilai rejeksi membran (Maharani dan Damayanti, 2013)



Gambar 4. 22 Grafik Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak pada Konsentrasi Limbah 100% (Hasil Penelitian, 2014)

Besarnya selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan berbeda antara membran dengan zeolit 3 gram dan 6 gram. Membran dengan massa zeolit 6 gram memiliki peningkatan nilai rejeksi yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan membran dengan massa zeolit 3 gram. Hal ini diakibatkan adanya pengaruh komposisi zeolit terhadap nilai rejeksi membran. Semakin banyak komposisi zeolit pada membran maka akan semakin banyak partikel yang tertahan oleh membran dikarenakan kemampuan zeolit dapat memisahkan partikel berdasarkan ukuran partikelnya.

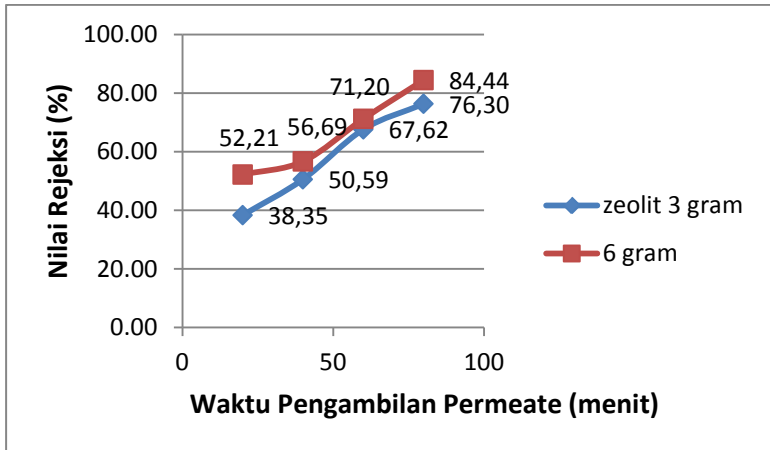
Nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 75%, dapat dilihat pada Tabel 4.10. Konsentrasi minyak dan lemak air limbah 75% awal adalah 16864 mg/L, kemudian pada menit ke 20, 40, 60 dan 80 pada membran dengan variasi zeolit 3 gram mengalami rejeksi masing-masing sebesar 38,35%; 50,59%; 67,62% dan 76,30%, sedangkan pada membran dengan variasi zeolit 6 gram adalah 52,21%; 56,69%; 71,20% dan 84,44%.

Tabel 4. 10 Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak pada Konsentrasi Limbah 75%

Menit ke	Zeolit 3 gram			Zeolit 6 gram		
	Konsentrasi (mg/L)		Rejeksi (%)	Konsentrasi (mg/L)		Rejeksi (%)
	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
20	16864	10396	38,35	16864	8060	52,21
40	16864	8332	50,59	16864	7304	56,69
60	16864	5460	67,62	16864	4856	71,20
80	16864	3996	76,30	16864	2624	84,44

Sumber : Hasil penelitian, 2014

Grafik nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 75% ditunjukkan pada Gambar 4.23. Gambar 4.23 menjelaskan bahwa Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap minyak dan lemak dengan zeolit 3 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 12,24; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 17,03; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 8,68. Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan zeolit 6 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 4,48; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 14,52; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 13,24. Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap minyak dan lemak yang terbesar baik pada membran dengan zeolit 3 gram maupun 6 gram adalah pada rentang waktu 40-60 menit.



Gambar 4. 23 Grafik Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak pada Konsentrasi Limbah 75% (Hasil Penelitian, 2014)

Peningkatan nilai rejeksi pada Gambar 4.23 dipengaruhi oleh laju pembentukan lapisan *cake* pada permukaan membran. Zat pengotor yang membentuk lapisan *cake* pada permukaan membran terbentuk secara bertahap. Seiring dengan bertambahnya waktu, maka akan semakin banyak zat pengotor yang menempel sehingga lapisan *cake* yang terbentuk semakin tebal dan membuat pori-pori membran semakin kecil. Semakin kecil pori-pori membran maka nilai rejeksi pada minyak dan lemak semakin besar (Rahmawati dan Damayanti, 2013).

Nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 50%, dapat dilihat pada Tabel 4.11. Konsentrasi minyak dan lemak air limbah 50% awal adalah 9884 mg/L, kemudian pada menit ke 20, 40, 60 dan 80 pada membran dengan variasi zeolit 3 gram mengalami rejeksi masing-masing sebesar 24,69%; 52,85%; 74,67% dan 75,15%, sedangkan pada membran dengan variasi zeolit 6 gram adalah 30,23%; 37,03%; 62,53% dan 77,18%.

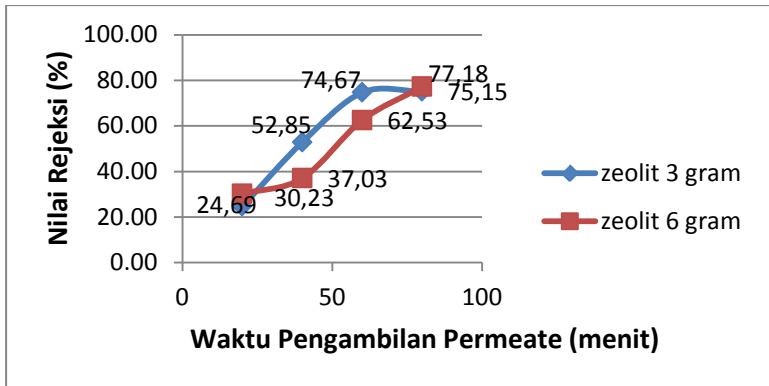
Tabel 4. 11 Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak pada Konsentrasi Limbah 50%

Menit ke	Zeolit 3 gram			Zeolit 6 gram		
	Konsentrasi (mg/L)		Rejeksi (%)	Konsentrasi (mg/L)		Rejeksi (%)
	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
20	9884	7444	24,69	9884	6896	30,23
40	9884	4660	52,85	9884	6224	37,03
60	9884	2504	74,67	9884	3704	62,53
80	9884	2456	75,15	9884	2256	77,18

Sumber : Hasil penelitian, 2014

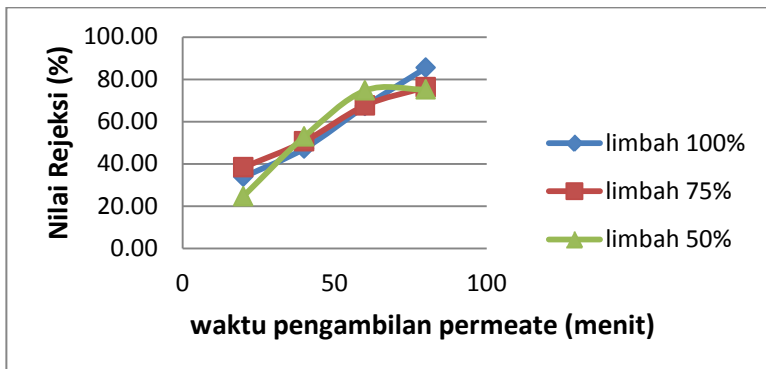
Grafik nilai rejeksi membran pada konsentrasi limbah 50% ditunjukkan pada Gambar 4.24. Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan dengan zeolit 3 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 28,17; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 21,81; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 0,49. Selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan zeolit 6 gram pada rentang waktu 20-40 menit adalah 6,80; pada rentang waktu 40-60 menit adalah 25,50; sedangkan pada rentang waktu 60-80 menit adalah 14,65.

Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa selisih peningkatan prosentase nilai rejeksi membran terhadap kekeruhan yang terbesar pada membran dengan zeolit 3 gram adalah pada rentang waktu 20-40 menit, sedangkan pada membran dengan zeolit 6 gram adalah pada rentang waktu 40-60 menit. Perbedaan peningkatan nilai rejeksi tersebut dipengaruhi oleh laju pembentukan lapisan *cake* pada permukaan membran. Semakin besar selisih peningkatan nilai rejeksi maka semakin tinggi pula laju pembentukan lapisan *cake* pada permukaan membran tersebut.

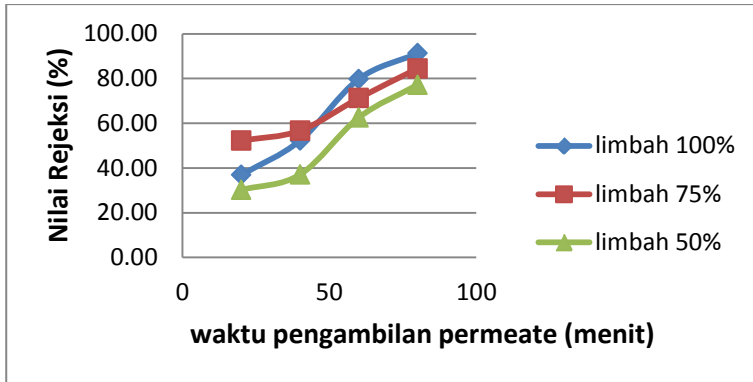


Gambar 4. 24 Grafik Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak pada Konsentrasi Limbah 50% (Hasil Penelitian, 2014)

Nilai rejeksi membran terhadap minyak dan lemak semakin meningkat seiring dengan pertambahan waktu operasi. Hal ini disebabkan oleh semakin lamanya waktu operasi maka akan terbentuk lapisan cake yang semakin tebal yang mempengaruhi ukuran pori-pori membran. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nur *et al.* (2013), semakin kecil pori membran maka akan semakin besar nilai rejeksinya.



Gambar 4.25 Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak pada Variasi Konsentrasi pada Massa Zeolit 3 gram



Gambar 4.26 Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak pada Variasi Konsentrasi pada Massa Zeolit 6 gram

Variasi konsentrasi juga memberikan pengaruh terhadap nilai rejeksi terhadap minyak dan lemak. Gambar 4.25 merupakan grafik nilai rejeksi terhadap minyak dan lemak berdasarkan variasi konsentrasi pada massa 3 gram, sedangkan pada Gambar 4.26 merupakan grafik nilai rejeksi minyak dan lemak pada variasi konsentrasi pada variasi massa 6 gram. Pada Gambar 4.25 dan Gambar 4.26 dapat dilihat bahwa konsentrasi larutan *feed* akan berpengaruh terhadap nilai rejeksi membran. Hal ini dapat dilihat pada hasil rejeksi minyak lemak yang lebih tinggi terdapat pada variasi konsentrasi 100% dibandingkan dengan konsentrasi yang lainnya. Semakin tinggi konsentrasi membran maka semakin tinggi pula beban filtrasi pada membran sehingga proses pembentukan *cake* pada lapisan membran semakin cepat. Konsentrasi yang tinggi pada *feed* akan meningkatkan berat jenis larutan umpan sehingga viskositasnya menjadi tinggi. Tingginya viskositas akan menurunkan difusifitas larutan tersebut. Difusifitas larutan yang rendah akan mempersulit umpan melewati membran, yang akan membentuk lapisan tebal pada permukaan membran sehingga menyumbat pori membran (Widyasmara dan Dewi, 2014).

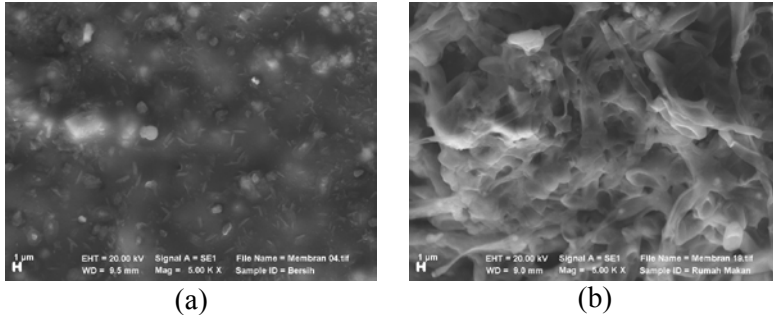
Nilai rejeksi membran terhadap minyak dan lemak yang paling tinggi adalah pada membran dengan variasi massa zeolit 6 gram. Hal ini dapat dipengaruhi oleh massa zeolit alam sebagai komposisi membran. Zeolit alam memiliki kemampuan memisahkan zat-zat tertentu berdasarkan ukuran partikelnya (Akbar, 2010), sehingga semakin banyak zeolit yang ditambahkan pada membran maka semakin banyak pula zat yang akan tertahan oleh membran yang akan meningkatkan nilai rejeksi membran tersebut. Massa zeolit yang terbaik pada penelitian ini adalah 6 gram. Hal ini dikarenakan nilai rejeksi terhadap kekeruhan serta minyak dan lemak yang tertinggi terdapat pada membran dengan massa zeolit 6 gram.

4.6 Analisis Morfologi Membran

Sampel yang akan digunakan pada analisa morfologi membran adalah membran zeolit dengan variasi massa zeolit 3 gram. Membran yang akan dianalisis adalah membran yang belum dan sudah digunakan untuk menyaring limbah rumah makan. Proses analisis morfologi membran dilakukan dengan menggunakan alat SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray*) pada Laboratorium Energi ITS. Jenis alat SEM yang digunakan adalah tipe ZEISS Evo MA10. Gambar 4.27 merupakan hasil *scanning* SEM pada perbesaran 5000 kali pada membran yang belum dan sudah digunakan dalam menyaring limbah rumah makan. Hasil analisis morfologi membran pada perbesaran 1000 kali pada membran yang belum dan sudah digunakan dapat dilihat pada Gambar Lamp. E1 dan Gambar Lamp. E2. Hasil pengujian SEM pada perbesaran 10000 kali dapat dilihat pada Gambar Lamp. E3 dan Gambar Lamp. E4.

Pada Gambar 4.27 dapat dilihat perbedaan permukaan membran yang belum dan telah digunakan untuk menyaring limbah rumah makan. Permukaan membran yang belum digunakan tampak masih bersih dari partikel-partikel pengotor, namun pada membran yang telah digunakan untuk menyaring air

limbah, permukaan membran tampak kotor oleh partikel-partikel pengotor.



Gambar 4.27 (a). Membran belum digunakan dengan perbesaran 5000 kali; (b). Membran yang telah digunakan dengan perbesaran 5000 kali (Hasil penelitian, 2014).

Partikel-partikel pengotor merupakan kandungan dari air limbah rumah makan yang tertahan oleh membran. Partikel-partikel tersebut membentuk lapisan *cake* pada permukaan membran. Lapisan *cake* tersebut yang mempengaruhi nilai fluks dan nilai rejeksi pada membran yang telah dioperasikan. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Fatmasari dan Damayanti (2013), bahwa pada permukaan membran yang telah digunakan akan tampak tumpukan zat pengotor yang berasal dari air limbah yang melewati membran.

Selain menggunakan Analisis SEM untuk mengetahui morfologi membran, analisis terhadap komposisi penyusun membran juga dilakukan dengan menggunakan EDX. Pada Analisis EDX, sinar X ditembakkan pada posisi tertentu untuk mengetahui komposisinya. Setelah ditembakkan, maka akan muncul grafik-grafik tertentu yang menunjukkan komposisi dan kadar suatu unsur pada permukaan membran tersebut. Hasil dari EDX dapat dilihat pada Gambar 4.28 untuk membran yang belum digunakan. Sedangkan hasil dari EDX untuk membran yang telah

digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.29. Tabel komposisi setelah dan sebelum digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.12. Nilai yang terdapat pada Tabel 4.12 merupakan hasil rata-rata dari hasil analisis EDX pada tiga permukaan membran, baik pada membran yang belum dan sudah digunakan. Tabel hasil analisis EDX pada permukaan membran selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran F. Hasil analisis EDX permukaan membran yang belum digunakan pada Titik 1, 2 dan 3 masing-masing dapat dilihat pada Gambar Lamp. F1, Gambar Lamp. F2 dan Gambar Lamp. F3. Pada **Gambar Lamp. F4**, **Gambar Lamp. F5** dan **Gambar Lamp. F6** dapat dilihat hasil analisis EDX pada permukaan membran yang telah digunakan masing-masing pada titik 1, 2 dan 3.

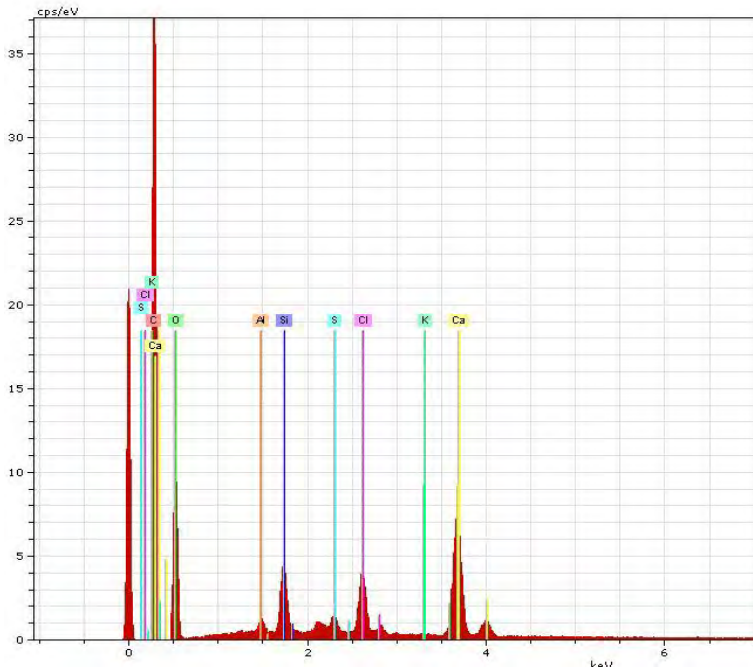
Tabel 4.12 Komposisi membran setelah dan sebelum digunakan

Unsur	Sebelum Digunakan (%)	Setelah digunakan (%)
C	41.00	43.02
O	42.37	41.39
Al	0.64	0.89
Si	2.69	2.38
S	0.49	-
P	-	1.92
Cl	2.96	0.52
K	0.12	0.41
Ca	9.73	9.40

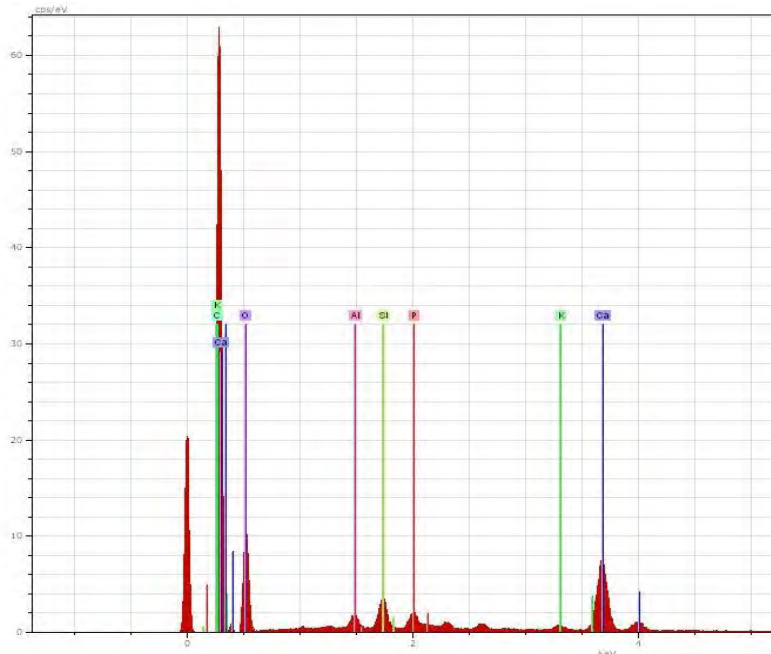
(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan pada Tabel 4.12 dapat dilihat bahwa komposisi Unsur C (karbon) pada membran yang telah digunakan untuk menyaring air limbah semakin banyak jika dibandingkan dengan membran yang belum digunakan. Hal ini dapat dikarenakan adanya komposisi dari partikel-partikel limbah rumah makan yang tertahan pada permukaan membran. Namun, Unsur Si (silika) pada membran yang telah digunakan lebih kecil

daripada membran yang belum digunakan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Fatmasari dan Damayanti (2012) bahwa penurunan kadar unsur tersebut disebabkan oleh adanya Si yang yang terlarut dalam sampel saat dilakukan pengujian membran pada reaktor. Unsur S yang semula ada pada membran yang belum digunakan, menghilang pada membran yang telah digunakan yang dikarenakan tersapu oleh aliran pada saat pengoperasian reaktor. Unsur P merupakan salah satu komponen dari limbah organik yang dimungkinkan berasal dari partikel-partikel kandungan limbah rumah makan yang tertahan pada permukaan membran yang telah digunakan.



Gambar 4.28 Grafik Komposisi Unsur Membran Sebelum Digunakan



Gambar 4.29 Grafik Komposisi Unsur Membran Setelah Digunakan

4.7 Analisis Statistika

Analisis statistika yang digunakan untuk mengolah data yang diperoleh adalah dengan menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) dengan menggunakan metode rancangan faktorial. Metode ini digunakan untuk mengetahui pengaruh antara konsentrasi air limbah, waktu operasi dan massa zeolit terhadap nilai rejeksi kekeruhan, nilai rejeksi minyak dan lemak serta nilai fluks.

4.7.1 Pengaruh Konsentrasi Limbah, Waktu Operasi dan Massa Zeolit terhadap Nilai Rejeksi Kekeruhan

Ada tidaknya pengaruh antara konsentrasi air limbah, waktu operasi dan massa zeolit terhadap nilai rejeksi kekeruhan

(%) dapat diketahui dengan melakukan analisis varians menggunakan rancangan faktorial. Penelitian ini menggunakan tiga faktor yaitu faktor konsentrasi air limbah, faktor waktu operasi dan faktor massa zeolit. Tabel 4.13 merupakan hasil pengujian ANOVA rancangan faktorial dengan interaksi antar dua faktor, yaitu konsentrasi dengan waktu, konsentrasi dengan massa dan waktu dengan massa. Interaksi antar tiga faktor tidak dilakukan dikarenakan keterbatasan data penelitian.

Tabel 4.13 ANOVA Faktorial Tiga Faktor Nilai Rejeksi Kekeruhan dengan Interaksi antar Dua Faktor

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Konsentrasi	2	2519.69	2519.69	1259.85	39.86	0.000
Waktu	3	4124.57	4124.57	1374.86	43.50	0.000
Massa	1	246.89	246.89	246.89	7.81	0.031
Konsentrasi *waktu	6	140.86	140.86	23.48	0.74	0.636
Konsentrasi *massa	2	20.00	20.00	10.00	0.32	0.740
Waktu *massa	3	368.65	368.65	122.88	3.89	0.074
Error	6	189.65	189.65	31.61		
Total	23					

Pada analisis ini ditentukan tingkat kesalahan (α) sebesar 5%. Bentuk hipotesis rancangan faktorial yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut,

1. Pengaruh konsentrasi terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_0 : Tidak ada pengaruh dari konsentrasi terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

H_1 : Ada pengaruh dari konsentrasi terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$
yaitu $0,000 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh konsentrasi terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

2. Pengaruh waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_0 : Tidak ada pengaruh dari waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

H_1 : Ada pengaruh dari waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$ yaitu $0,000 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

3. Pengaruh massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_0 : Tidak ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

H_1 : Ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$ yaitu $0,031 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

4. Pengaruh interaksi antara konsentrasi dengan waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_0 : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_1 : Ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Terima H_0 , karena nilai $P_value > \alpha$ yaitu $0,740 > 0,05$

Kesimpulan : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dengan waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

5. Pengaruh interaksi antara konsentrasi dengan massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_0 : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_1 : Ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Terima H_0 , karena nilai $P_value > \alpha$ yaitu $0,636 > 0,05$

Kesimpulan : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dengan massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

6. Pengaruh interaksi antara waktu dengan massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_0 : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara waktu dan massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_1 : Ada pengaruh dari interaksi antara waktu dan massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Terima H_0 , karena nilai $P_value > \alpha$ yaitu $0,074 > 0,05$

Kesimpulan : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dengan waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapatkan bahwa interaksi antara kedua faktor yang diuji tidak menghasilkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai rejeksi kekeruhan, sehingga dilakukan kembali pengujian ANOVA tanpa interaksi

antar faktor. Tabel 4.14 merupakan hasil pengujian ANOVA rancangan faktorial tanpa adanya interaksi antar faktor.

Tabel 4.14 ANOVA Faktorial Tiga Faktor Nilai Rejeksi Kekeruhan Tanpa Interaksi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6891,080	6	1148,513	27,148	,000
Intercept	79079,980	1	79079,980	1869,245	,000
Konsentrasi	2519,456	2	1259,728	29,777	,000
Waktu	4124,775	3	1374,925	32,500	,000
Massa	246,849	1	246,849	5,835	,027
Error	719,199	17	42,306		
Total	86690,260	24			
Corrected Total	7610,280	23			

Sumber: Hasil penelitian, 2014

Pada analisis ini akan ditentukan tingkat kesalahan (α) sebesar 5%. Bentuk hipotesis rancangan faktorial yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut,

1. Pengaruh konsentrasi terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_0 : Tidak ada pengaruh dari konsentrasi terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

H_1 : Ada pengaruh dari konsentrasi terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$ yaitu $0,000 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh konsentrasi terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Selanjutnya akan dianalisis berdasarkan levelnya (100%, 75%, dan 50%) untuk mengetahui level mana yang memberikan pengaruh yang berbeda pada nilai rejeksi kekeruhan dengan

menggunakan Uji Tukey. Tabel 4.15 merupakan tabel hasil Uji Tukey untuk faktor konsentrasi.

Tabel 4.15 Uji Tukey untuk Faktor Konsentrasi pada Nilai Rejeksi Kekeruhan

(I) Konsentrasi	(J) Konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
50	75	15,0875*	3,25215	,001	6,7446	23,4304
	100	-9,8250*	3,25215	,020	-18,1679	-1,4821
75	50	-15,0875*	3,25215	,001	-23,4304	-6,7446
	100	-24,9125*	3,25215	,000	-33,2554	-16,5696
100	50	9,8250*	3,25215	,020	1,4821	18,1679
	75	24,9125*	3,25215	,000	16,5696	33,2554

Sumber: Hasil penelitian, 2014

Tabel 4.15 menjelaskan bahwa diperoleh keputusan tolak H_0 pada semua level konsentrasi karena nilai signifikansinya lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Hal ini berarti setiap level konsentrasi memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

2. Pengaruh waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_0 : Tidak ada pengaruh dari waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

H_1 : Ada pengaruh dari waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 karena nilai $P_value < \alpha$
yaitu $0,000 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh waktu terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Selanjutnya akan dianalisis berdasarkan levelnya (20 menit, 40 menit, 60 menit dan 80 menit) untuk mengetahui level

mana yang memberikan pengaruh yang berbeda pada nilai rejeksi kekeruhan dengan menggunakan Uji Tukey. Tabel 4.16 merupakan tabel hasil Uji Tukey untuk faktor waktu.

Tabel 4.16 Uji Tukey untuk Faktor Waktu pada Nilai Rejeksi Kekeruhan

(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
20	40	-17,7200*	3,75526	,001	-28,3945	-7,0455
	60	-28,1000*	3,75526	,000	-38,7745	-17,4255
	80	-34,7217*	3,75526	,000	-45,3962	-24,0471
40	20	17,7200*	3,75526	,001	7,0455	28,3945
	60	-10,3800	3,75526	,058	-21,0545	,2945
	80	-17,0017*	3,75526	,002	-27,6762	-6,3271
60	20	28,1000*	3,75526	,000	17,4255	38,7745
	40	10,3800	3,75526	,058	-,2945	21,0545
	80	-6,6217	3,75526	,324	-17,2962	4,0529
80	20	34,7217*	3,75526	,000	24,0471	45,3962
	40	17,0017*	3,75526	,002	6,3271	27,6762
	60	6,6217	3,75526	,324	-4,0529	17,2962

Sumber : Hasil penelitian, 2014

Tabel 4.16 menjelaskan bahwa diperoleh keputusan gagal tolak H_0 pada level waktu menit ke-40 dan ke-60 karena nilai signifikansi (0,058) lebih besar dari nilai α sebesar 5% (0,05). Hal tersebut juga terjadi pada level waktu menit ke-60 dan ke-80 karena nilai signifikansi (0,324) lebih besar dari nilai α sebesar 5% (0,05). Hal ini berarti tidak ada perbedaan pengaruh antara menit ke-20 dan menit ke-40 terhadap nilai rejeksi kekeruhan. Menit ke-40 dan ke-80 juga tidak memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai rejeksi kekeruhan. Namun waktu lainnya sudah memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai rejeksi karena diperoleh keputusan tolak H_0 dikarenakan nilai

signifikansi yang didapatkan lebih kecil daripada α sebesar 5% (0,05).

3. Pengaruh massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan

H_0 : Tidak ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

H_1 : Ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

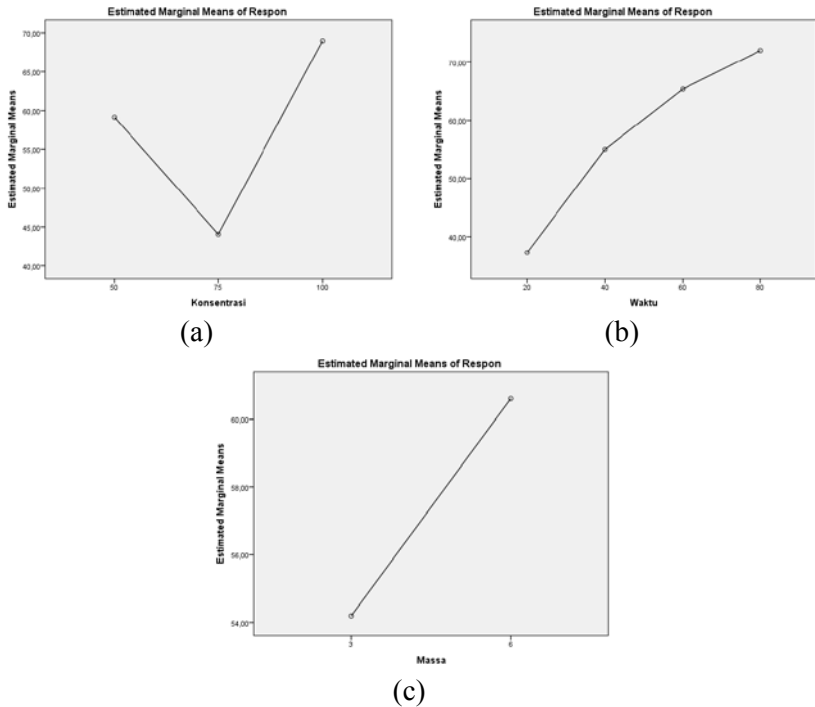
Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$
yaitu $0,027 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Selanjutnya akan dianalisis berdasarkan levelnya (3 gram dan 6 gram) untuk mengetahui level mana yang memberikan pengaruh berbeda pada nilai rejeksi dengan menggunakan Uji Tukey. Namun, Uji Tukey untuk faktor massa tidak perlu dilakukan karena massa hanya terdiri atas dua level. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.13, maka dapat dipastikan bahwa level 3 gram dan 6 gram berbeda. Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh nilai signifikansi pada ANOVA sebesar 0,027 yang lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Artinya, massa 3 gram dan 6 gram signifikan berbeda berpengaruh terhadap nilai rejeksi kekeruhan.

Grafik rata-rata dari Analisis ANOVA untuk ketiga faktor dapat dilihat pada Gambar 4.30. Nilai rejeksi kekeruhan yang diharapkan pada penelitian ini adalah nilai rejeksi yang paling tinggi, sehingga dipilih level konsentrasi, waktu dan massa yang menghasilkan rata-rata nilai rejeksi yang paling tinggi. Level faktor yang menghasilkan nilai rejeksi yang tertinggi adalah konsentrasi 100%, menit ke-80 dan pada massa 6 gram.



Gambar 4.30 Grafik Rata-Rata dari Analisis ANOVA Untuk (a) Konsentrasi, (b) Waktu dan (c) Massa (Hasil penelitian, 2014)

4.7.2 Pengaruh Konsentrasi Limbah, Waktu Operasi dan Massa Zeolit terhadap Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak

Analisis varians dengan rancangan faktorial digunakan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi limbah, waktu operasi dan massa zeolit terhadap nilai rejeksi membran terhadap minyak dan lemak (%). Faktor yang digunakan penelitian ini adalah konsentrasi air limbah, waktu operasi dan massa zeolit. Pada

Tabel 4.17 dapat dilihat hasil pengujian ANOVA rancangan faktorial dengan interaksi antara dua faktor. Hal ini dikarenakan interaksi antar tiga faktor tidak dapat dilakukan yang disebabkan keterbatasan data penelitian.

Tabel 4. 17 ANOVA Faktorial Tiga Faktor Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak dengan Interaksi antara Dua Faktor

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Konsentrasi	2	313,46	313,46	156,73	6,52	0,031
Waktu	3	7576,23	7576,23	2525,41	105,05	0,000
Massa	1	58,99	58,99	58,99	2,45	0,168
Konsentrasi *waktu	6	261,29	261,29	43,55	1,81	0,244
Konsentrasi *massa	2	205,19	205,19	102,59	4,27	0,070
Waktu *massa	3	73,93	73,93	24,64	1,03	0,445
Error	6	144,23	144,23	24,04		
Total	23	8633,32				

Sumber : Hasil penelitian, 2014

Bentuk hipotesis rancangan faktorial selengkapnya dapat dilihat pada penjelasan berikut ini pada yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut,

1. Pengaruh konsentrasi terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak

H_0 : Tidak ada pengaruh dari konsentrasi terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_1 : Ada pengaruh dari konsentrasi terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$ yaitu $0,031 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh konsentrasi terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

2. Pengaruh waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak

H_0 : Tidak ada pengaruh dari waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_1 : Ada pengaruh dari waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$
yaitu $0,000 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

3. Pengaruh massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak

H_0 : Tidak ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_1 : Ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$
yaitu $0,168 > 0,05$

Kesimpulan : Tidak ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

4. Pengaruh interaksi antara konsentrasi dengan waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak

H_0 : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_1 : Ada pengaruh dari dari interaksi antara konsentrasi dan waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Terima H_0 , karena nilai $P_value > \alpha$
yaitu $0,244 > 0,05$

Kesimpulan : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dengan waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

5. Pengaruh interaksi antara konsentrasi dengan massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_0 : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_1 : Ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Terima H_0 , karena nilai $P_value > \alpha$ yaitu $0,070 > 0,05$

Kesimpulan : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dengan massa terhadap nilai rejeksi kekerasan.

6. Pengaruh interaksi antara waktu dengan massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_0 : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara waktu dan massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_1 : Ada pengaruh dari interaksi antara waktu dan massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Terima H_0 , karena nilai $P_value > \alpha$ yaitu $0,074 > 0,05$

Kesimpulan : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dengan waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

Berdasarkan penjelasan tersebut didapatkan bahwa pengaruh yang diberikan oleh interaksi dua faktor tidak signifikan berbeda terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak. Oleh karena itu, dilakukan pengujian kembali ketiga faktor tersebut tanpa adanya interaksi. Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 ANOVA Faktorial Tiga Faktor Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak Tanpa Interaksi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7948,968 ^a	6	1324,828	32,887	,000
Intercept	84662,821	1	84662,821	2101,612	,000
konsentrasi	313,272	2	156,636	3,888	,041
waktu	7576,632	3	2525,544	62,692	,000
Massa	59,063	1	59,063	1,466	,004
Error	684,840	17	40,285		
Total	93296,629	24			
Corrected Total	8633,808	23			

Sumber : Hasil penelitian, 2014

Hipotesis rancangan faktorial selengkapnya dapat dilihat pada penjelasan berikut ini.

1. Pengaruh konsentrasi terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak

H_0 : Tidak ada pengaruh dari konsentrasi terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_1 : Ada pengaruh dari konsentrasi terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$ yaitu $0,041 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh konsentrasi terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak (konsentrasi signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak).

Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka akan dilakukan analisis berdasarkan levelnya (100%, 75%, dan 50%) dengan menggunakan Uji Tukey. Hal ini bertujuan untuk mengetahui

level mana yang memberikan pengaruh yang berbeda pada nilai rejeksi minyak dan lemak. Tabel 4.19 merupakan tabel hasil Analisis Uji Tukey untuk konsentrasi.

Tabel 4.19 Uji Tukey untuk Konsentrasi pada Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak

(I) konsen trasi	(J) konsen trasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
50	75	-7,8837	3,17351	,009	-16,0249	,2574
	100	-7,4237	3,17351	,007	-15,5649	,7174
75	50	7,8837	3,17351	,009	-,2574	16,0249
	100	,4600	3,17351	,008	-7,6812	8,6012
100	50	7,4237	3,17351	,007	-,7174	15,5649
	75	-,4600	3,17351	,008	-8,6012	7,6812

Sumber: Hasil penelitian, 2014

Tabel 4.19 menjelaskan bahwa diperoleh keputusan tolak H_0 pada semua level konsentrasi karena nilai signifikansinya lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Hal ini berarti setiap level konsentrasi memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

2. Pengaruh waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak

H_0 : Tidak ada pengaruh dari waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_1 : Ada pengaruh dari waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$ yaitu $0,000 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh waktu terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak (waktu signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak).

Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka akan dilakukan analisis berdasarkan levelnya (20 menit, 40 menit, 60 menit dan 80 m enit) dengan menggunakan Uji Tukey. Hal ini bertujuan untuk mengetahui level mana yang memberikan pengaruh yang berbeda pada nilai rejeksi minyak dan lemak. Tabel 4.20 merupakan tabel hasil Uji Tukey untuk waktu.

Tabel 4.20 Uji Tukey untuk Waktu pada Nilai Rejeksi Minyak dan Lemak

(I) waktu	(J) waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
20	40	-13,4233*	3,66446	,009	-23,8398	-3,0069
	60	-34,4867*	3,66446	,000	-44,9031	-24,0702
	80	-45,5983*	3,66446	,000	-56,0148	-35,1819
40	20	13,4233*	3,66446	,009	3,0069	23,8398
	60	-21,0633*	3,66446	,000	-31,4798	-10,6469
	80	-32,1750*	3,66446	,000	-42,5914	-21,7586
60	20	34,4867*	3,66446	,000	24,0702	44,9031
	40	21,0633*	3,66446	,000	10,6469	31,4798
	80	-11,1117*	3,66446	,034	-21,5281	-,6952
80	20	45,5983*	3,66446	,000	35,1819	56,0148
	40	32,1750*	3,66446	,000	21,7586	42,5914
	60	11,1117*	3,66446	,034	,6952	21,5281

Sumber: Hasil penelitian, 2014

Tabel 4.20 menjelaskan bahwa diperoleh keputusan tolak H_0 pada semua level waktu karena nilai signifikansinya lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Hal ini berarti setiap level waktu memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

3. Pengaruh massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak

H_0 : Tidak ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

H_1 : Ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

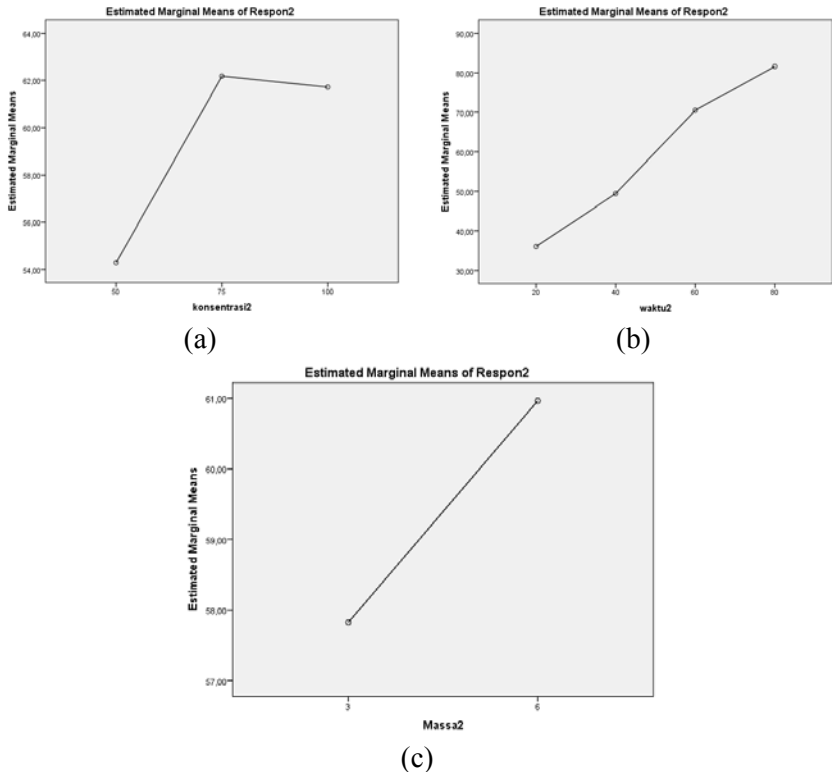
Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 karena nilai $P_value < \alpha$
yaitu $0,004 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh dari massa terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak (massa signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak).

Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka akan dianalisis berdasarkan levelnya (3 gram dan 6 gram) dengan menggunakan Uji Tukey. Hal ini bertujuan untuk mengetahui level mana yang memberikan pengaruh pada nilai rejeksi minyak dan lemak. Namun, Uji Tukey untuk faktor massa tidak perlu dilakukan karena massa hanya terdiri atas 2 level. Hal ini dapat dilihat pada tabel analisis ANOVA, dimana sudah dapat dipastikan bahwa level 3 gram dan 6 gram berbeda. Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh nilai signifikansi pada ANOVA sebesar 0,004 yang lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Artinya, massa 3 gram dan 6 gram memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai rejeksi minyak dan lemak.

Grafik rata-rata dari Analisis ANOVA untuk ketiga faktor dapat dilihat pada Gambar 4.31. Nilai rejeksi minyak dan lemak yang diharapkan pada penelitian ini adalah nilai rejeksi yang paling tinggi, sehingga dipilih level konsentrasi, waktu dan massa yang menghasilkan rata-rata nilai rejeksi yang paling tinggi. Level faktor yang menghasilkan nilai rejeksi yang tertinggi adalah konsentrasi 75%, menit ke-80 dan pada massa 6 gram.



Gambar 4.31 Grafik Rata-Rata dari Analisis ANOVA Untuk (a) Konsentrasi, (b) Waktu dan (c) Massa (Hasil penelitian, 2014)

4.7.3 Pengaruh Konsentrasi Limbah, Waktu Operasi dan Massa Zeolit terhadap Nilai Fluks

Pada penelitian ini, akan digunakan tiga faktor untuk mengetahui pengaruh faktor tersebut pada nilai fluks membran. Faktor-faktor tersebut adalah konsentrasi limbah, waktu operasi dan massa zeolit. Pengaruh dari ketiga faktor tersebut dapat diketahui dengan menggunakan analisis varians rancangan faktorial. Tabel 4.21 merupakan hasil pengujian yang telah

dilakukan serta Tabel ANOVA rancangan faktorial yang diperoleh beserta interaksi antara dua faktor.

Tabel 4. 21 ANOVA Faktorial Tiga Faktor Nilai Fluks dengan Interaksi antara Dua Faktor

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Konsentrasi	2	40.830	40.830	20.415	186.33	0.000
Waktu	3	314.829	314.829	104.943	957.83	0.000
Massa	1	2.930	2.930	2.930	26.75	0.002
Konsentrasi *waktu	6	14.241	14.241	2.373	21.66	0.001
Konsentrasi *massa	2	0.024	0.024	0.012	0.11	0.899
Waktu *massa	3	1.173	1.173	0.391	3.57	0.086
Error	6	0.657	0.657	0.110		
Total	23	374.685				

Bentuk hipotesis rancangan faktorial yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut,

1. Pengaruh konsentrasi terhadap nilai fluks

H_0 : Tidak ada pengaruh dari konsentrasi terhadap nilai fluks.

H_1 : Ada pengaruh dari konsentrasi terhadap nilai fluks.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$
yaitu $0,000 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh konsentrasi terhadap nilai fluks.

Setelah didapatkan kesimpulan tersebut, maka akan dilakukan analisis berdasarkan levelnya (100%, 75%, dan 50%) untuk mengetahui level mana yang memberikan pengaruh pada nilai fluks dengan menggunakan Uji Tukey. Tabel 4.22 merupakan tabel hasil Analisis Uji Tukey untuk konsentrasi.

Tabel 4.22 Uji Tukey untuk Konsentrasi pada Nilai Fluks

(I) konsen trasi	(J) konsen trasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
50	75	1,3725*	,48645	,030	,1246	2,6204
	100	3,1875*	,48645	,000	1,9396	4,4354
75	50	-1,3725*	,48645	,030	-2,6204	-,1246
	100	1,8150*	,48645	,004	,5671	3,0629
100	50	-3,1875*	,48645	,000	-4,4354	-1,9396
	75	-1,8150*	,48645	,004	-3,0629	-,5671

Sumber: Hasil penelitian, 2014

Tabel 4.20 menjelaskan bahwa diperoleh keputusan tolak H_0 pada semua level konsentrasi karena nilai signifikansinya lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Hal ini berarti setiap level konsentrasi memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai fluks.

2. Pengaruh waktu terhadap nilai fluks

H_0 : Tidak ada pengaruh dari waktu terhadap nilai fluks.

H_1 : Ada pengaruh dari waktu terhadap fluks.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 karena nilai $P_value < \alpha$
yaitu $0,000 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh waktu terhadap fluks.

Setelah didapatkan kesimpulan tersebut, maka akan dilakukan analisis berdasarkan levelnya (20 menit, 40 menit, 60 menit dan 80 menit) untuk mengetahui level mana yang memberikan pengaruh pada nilai fluks dengan menggunakan Uji Tukey. Tabel 4.23 merupakan tabel hasil Analisis Uji Tukey untuk waktu. Tabel 4.23 menjelaskan bahwa diperoleh keputusan gagal tolak H_0 pada level waktu menit ke-60 dan ke-80 karena nilai signifikansi (0,532) lebih besar dari nilai α sebesar 5% (0,05). Hal

ini berarti tidak ada perbedaan pengaruh antara menit ke-60 dan menit ke-80 terhadap nilai fluks. Namun waktu lainnya sudah memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai fluks karena diperoleh keputusan tolak H_0 pada tabel Analisis Tukey.

Tabel 4.23 Uji Tukey untuk Waktu pada Nilai Fluks

(I) waktu	(J) waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
20	40	6,3683 [*]	,56171	,000	4,7716	7,9650
	60	8,4467 [*]	,56171	,000	6,8500	10,0434
	80	9,2183 [*]	,56171	,000	7,6216	10,8150
40	20	-6,3683 [*]	,56171	,000	-7,9650	-4,7716
	60	2,0783 [*]	,56171	,009	,4816	3,6750
	80	2,8500 [*]	,56171	,000	1,2533	4,4467
60	20	-8,4467 [*]	,56171	,000	-10,0434	-6,8500
	40	-2,0783 [*]	,56171	,009	-3,6750	-,4816
	80	,7717	,56171	,532	-,8250	2,3684
80	20	-9,2183 [*]	,56171	,000	-10,8150	-7,6216
	40	-2,8500 [*]	,56171	,000	-4,4467	-1,2533
	60	-,7717	,56171	,532	-2,3684	,8250

Sumber: Hasil penelitian, 2014

3. Pengaruh massa terhadap nilai fluks

H_0 : Tidak ada pengaruh dari massa terhadap nilai fluks

H_1 : Ada pengaruh dari massa terhadap nilai fluks.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Tolak H_0 , karena nilai $P_value < \alpha$
yaitu $0,002 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh dari massa terhadap nilai fluks.

Selanjutnya akan dianalisis berdasarkan levelnya (3 gram dan 6 gram) untuk mengetahui level mana yang memberikan pengaruh pada nilai fluks dengan menggunakan Uji Tukey. Namun, analisis

Tukey untuk faktor massa tidak muncul karena massa hanya terdiri atas 2 level, dimana jika terjadi penolakan H_0 pada tabel analisis ANOVA, sudah dapat dipastikan bahwa level 3 gram dan 6 gram berbeda. Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh nilai signifikansi pada ANOVA sebesar 0,047 yang lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Artinya, massa 3 gram dan 6 gram memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai fluks.

4. Pengaruh interaksi antara konsentrasi dengan waktu terhadap nilai fluks

H_0 : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan waktu terhadap nilai fluks.

H_1 : Ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan waktu terhadap nilai fluks.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Terima H_0 , karena nilai $P_value > \alpha$ yaitu $0,001 < 0,05$

Kesimpulan : Ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dengan waktu terhadap nilai fluks.

Setelah didapatkan kesimpulan tersebut, maka akan dilakukan analisis berdasarkan level konsentrasi (100%, 75%, dan 50%) dan level waktu (20 menit, 40 menit, 60 menit dan 80 menit) untuk mengetahui level mana yang memberikan pengaruh pada nilai fluks dengan menggunakan Uji Tukey. Tabel 4.22 merupakan tabel hasil Analisis Uji Tukey untuk konsentrasi. Pada tabel tersebut, huruf yang sama menandakan pengaruh yang sama antar interaksi. Dari Tabel 4.22 dapat dilihat bahwa pengaruh interaksi antara konsentrasi 50 pada waktu ke-20 menit berbeda dengan pengaruh antara interaksi konsentrasi 75 pada waktu ke-20. Namun, pengaruh konsentrasi 100 pada waktu ke-20 menit sama dengan konsentrasi 50 pada waktu ke-40 menit.

Tabel 4.24 Uji Tukey untuk Interaksi Konsentrasi dan Waktu terhadap Nilai Fluks

Konsentrasi	Waktu	Grouping						
50	20	A						
75	20		B					
100	20			C				
50	40			C				
75	40				D			
100	40				D	E		
50	60					E	F	
75	60					E	F	G
100	60					E	F	G
50	80						F	G
75	80						F	G
100	80							G

Sumber : Hasil penelitian, 2014

5. Pengaruh interaksi antara konsentrasi dengan massa terhadap nilai fluks

H_0 : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dan massa terhadap nilai fluks

H_1 : Ada pengaruh dari dari interaksi antara konsentrasi dan massa terhadap nilai fluks.

Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Terima H_0 , karena nilai $P_value > \alpha$ yaitu $0,899 > 0,05$

Kesimpulan : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dengan massa terhadap nilai fluks.

6. Pengaruh interaksi antara waktu dengan massa terhadap nilai fluks

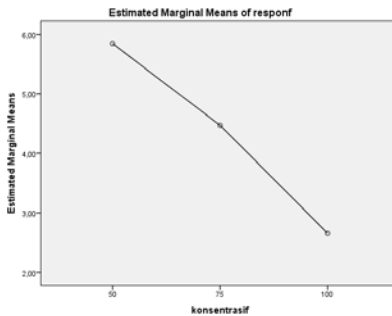
H_0 : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara waktu dan massa terhadap nilai fluks

H_1 : Ada pengaruh dari interaksi antara waktu dan massa terhadap nilai fluks.

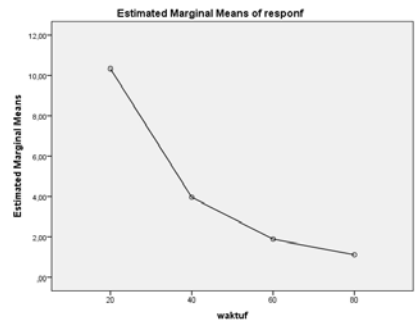
Daerah penolakan : Tolak H_0 bila $P_value < \alpha$

Keputusan : Terima H_0 , karena nilai $P_value > \alpha$ yaitu $0,086 > 0,05$

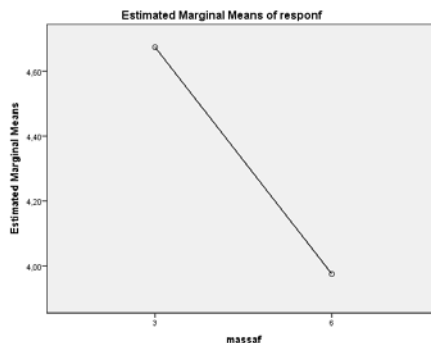
Kesimpulan : Tidak ada pengaruh dari interaksi antara konsentrasi dengan waktu terhadap nilai fluks.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.32 Grafik Rata-Rata dari Analisis ANOVA Untuk (a) Konsentrasi, (b) Waktu dan (c) Massa (Hasil penelitian, 2014)

Grafik rata-rata dari Analisis ANOVA untuk ketiga faktor dapat dilihat pada Gambar 4.32. Nilai fluks yang diharapkan pada penelitian ini adalah nilai fluks yang paling tinggi, sehingga dipilih level konsentrasi, waktu dan massa yang menghasilkan rata-rata nilai rejeksi yang paling tinggi. Level faktor yang menghasilkan nilai rejeksi yang tertinggi adalah konsentrasi 50%, menit ke-20 dan pada massa 3 gram.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Massa zeolit terbaik untuk pembuatan membran nanofiltrasi dalam pengolahan limbah cair rumah makan adalah 6 gram.
2. Nilai fluks tertinggi pada variasi konsentrasi limbah 100% adalah $7,64 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}^{-1}$. Nilai fluks tertinggi pada variasi konsentrasi limbah 75% adalah $11,89 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}^{-1}$. Nilai fluks tertinggi pada variasi konsentrasi limbah 50% adalah $13,59 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}^{-1}$.

Nilai fluks terbesar pada variasi massa zeolit 3 gram adalah $13,59 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}^{-1}$ dan pada variasi massa zeolit 6 gram adalah $12,74 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}^{-1}$.

3. Nilai rejeksi tertinggi terhadap kekeruhan pada variasi konsentrasi limbah 100% adalah 88,84%. Nilai rejeksi tertinggi pada variasi konsentrasi limbah 75% adalah 70,00%. Nilai rejeksi tertinggi pada variasi konsentrasi limbah 50% adalah 77,50%.

Nilai rejeksi tertinggi terhadap kekeruhan pada variasi massa zeolit 3 gram adalah 83,26%. Nilai rejeksi kekeruhan pada variasi massa zeolit 6 gram adalah 88,84%.

Nilai rejeksi tertinggi terhadap minyak dan lemak pada variasi konsentrasi limbah 100% adalah 91,22%. Nilai rejeksi tertinggi terhadap minyak dan lemak pada variasi konsentrasi limbah 75% adalah 84,44%. Nilai rejeksi terhadap minyak dan lemak pada variasi konsentrasi limbah 50% adalah 77,18%.

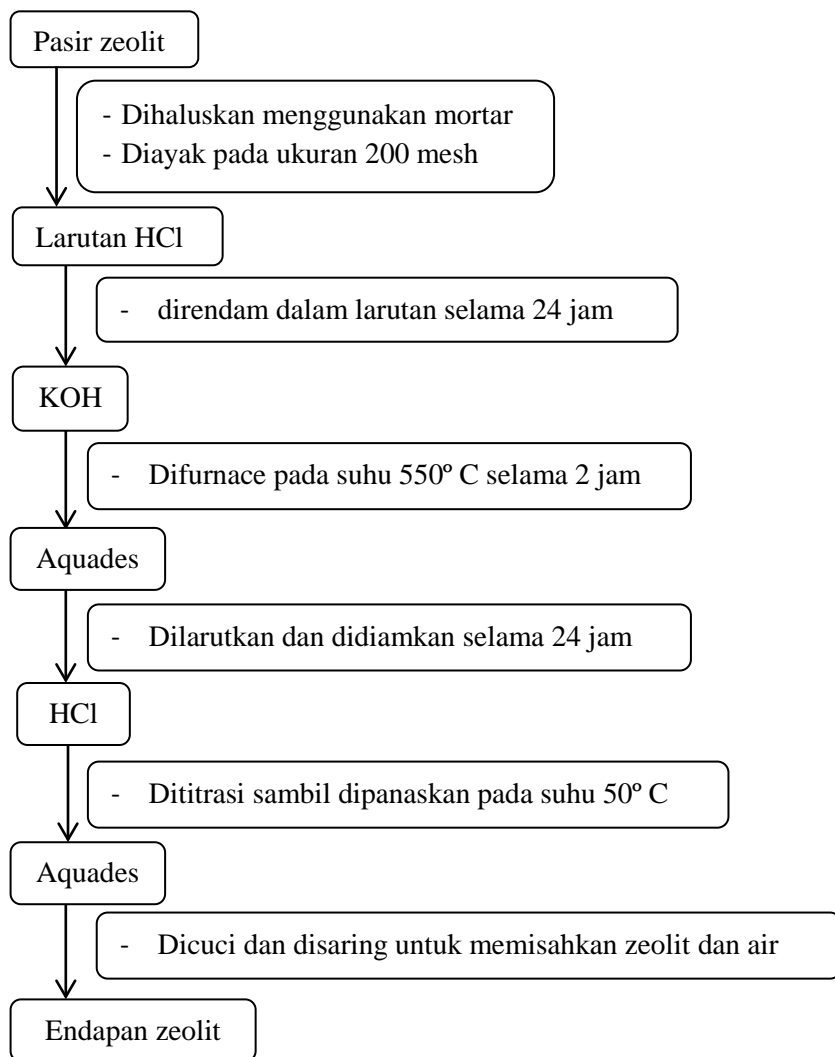
Nilai rejeksi tertinggi terhadap minyak dan lemak pada variasi massa zeolit 3 gram adalah 85,40. Nilai rejeksi tertinggi terhadap minyak dan lemak pada variasi massa zeolit 6 gram adalah 91,22%.

5.2 Saran

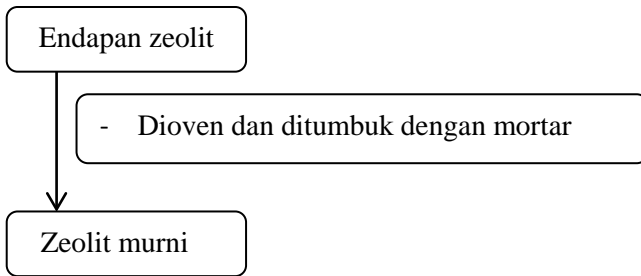
Saran yang diberikan untuk penelitian ini agar kedepannya menjadi lebih baik adalah sebagai berikut

1. Sebaiknya pengambilan *permeate* pada uji membran dalam reaktor *cross-flow* dalam waktu yang lama (>20 menit) supaya *permeate* yang dihasilkan lebih banyak.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian yang lebih lanjut tentang komposisi bahan dalam pembuatan membran zeolit nanofiltrasi
3. Sebaiknya dilakukan penelitian yang lebih lanjut mengenai variasi tekanan pada membran untuk mengetahui kemampuan tekanan membran.
4. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan pompa dengan daya tekan yang lebih tinggi supaya didapatkan performa membran nanofiltrasi yang optimal.

Lampiran A

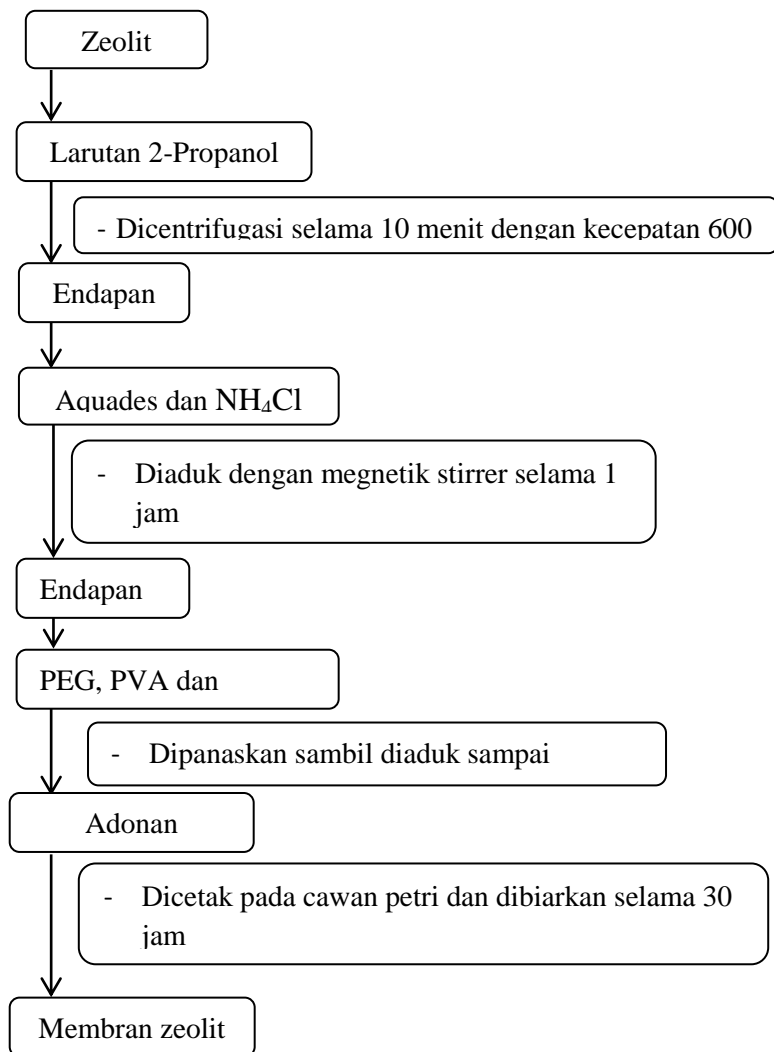


Gambar Lamp. A1. Prosedur Sintesis Zeolit



Gambar Lamp. A1. Prosedur Sintesis Zeolit (Lanjutan)

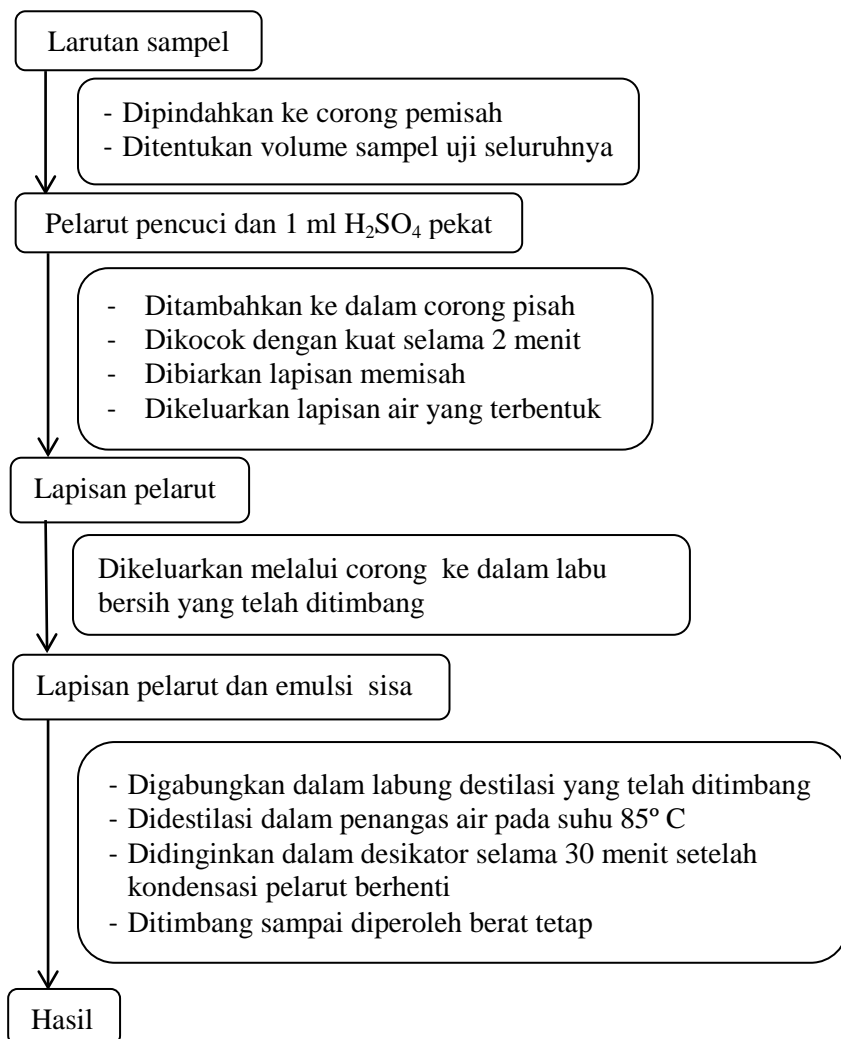
Lampiran B



Gambar Lamp. B1. Prosedur Pembuatan Membran

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran C



Gambar Lamp. C1. Prosedur Analisis Minyak dan Lemak

Perhitungan

Jumlah minyak lemak dalam contoh uji :

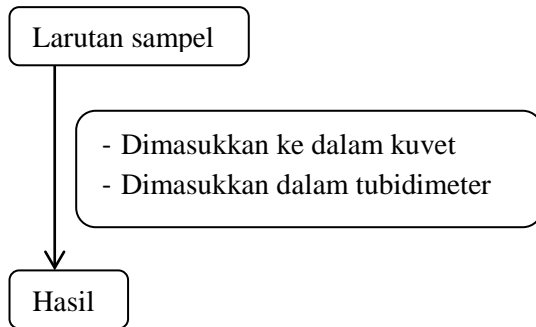
$$\text{Kadar minyak-lemak (mg/L)} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{ml contoh uji}}$$

Dengan pengertian,

A adalah berat labu + ekstrak, mg;

B adalah berat labu kosong, mg.

Lampiran D

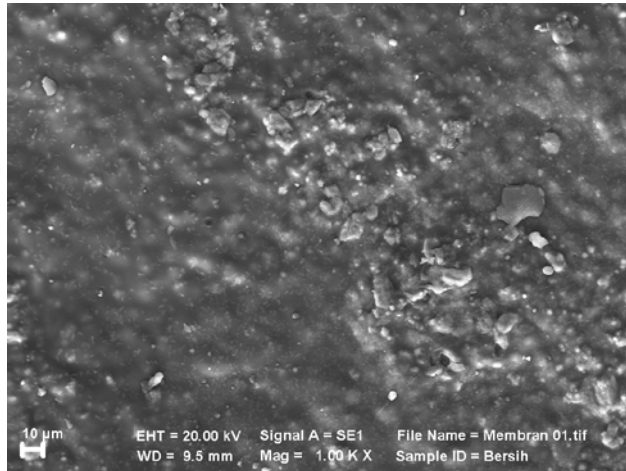


Gambar Lamp. D1. Prosedur Analisis Kekeruhan

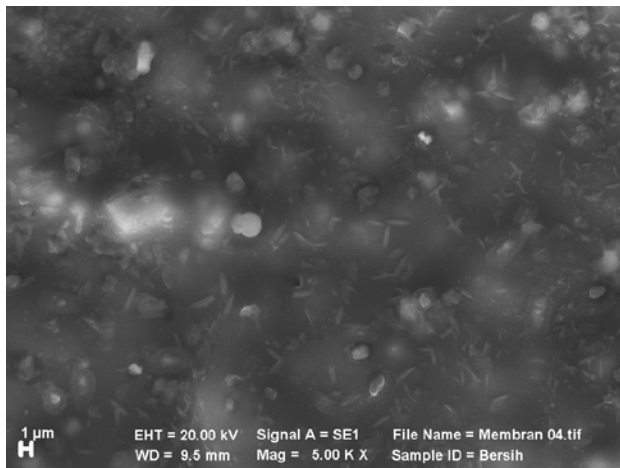
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran E

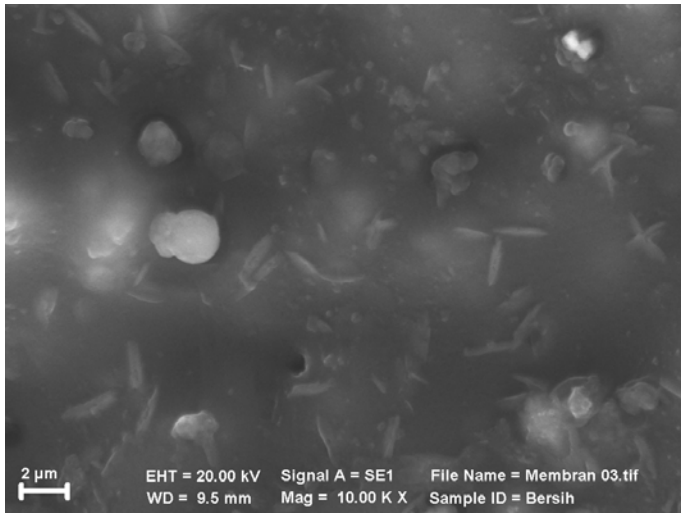
Hasil Analisa SEM



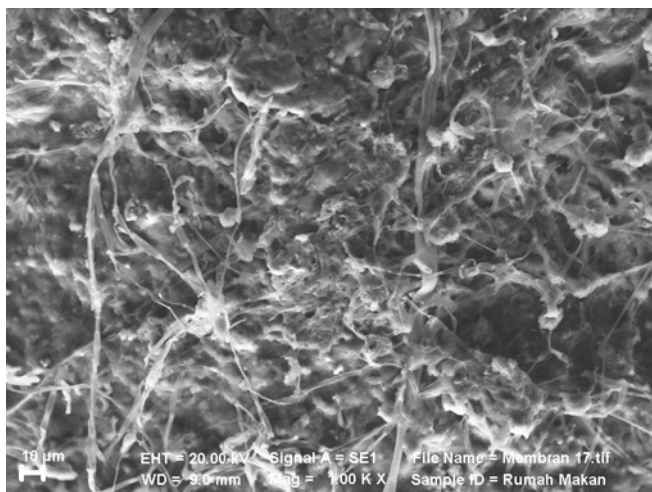
Gambar Lamp. E1. Membran yang belum digunakan dengan perbesaran 1000 kali



Gambar Lamp. E2. Membran yang belum digunakan dengan perbesaran 5000 kali



Gambar Lamp. E3. Membran yang belum digunakan dengan perbesaran 10000 kali

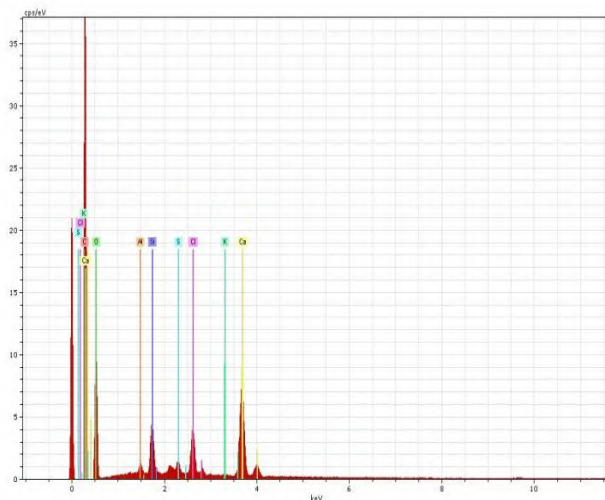


Gambar Lamp. E4. Membran yang belum digunakan dengan perbesaran 1000 kali

Lampiran F

Hasil Analisa EDX

Membran Bersih

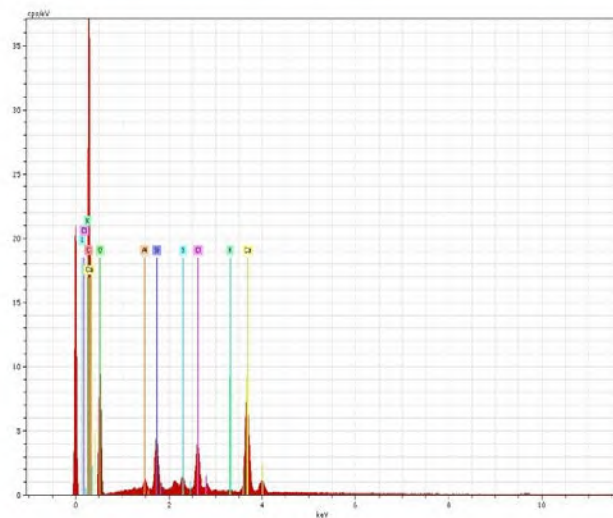


Spectrum: Acquisition 1673

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	37.98	37.98	49.35	13.1
O	8	K-series	43.93	43.93	42.85	14.3
Al	13	K-series	0.51	0.51	0.29	0.1
Si	14	K-series	2.37	2.37	1.32	0.1
S	16	K-series	1.06	1.06	0.52	0.1
Cl	17	K-series	3.36	3.36	1.48	0.1
K	19	K-series	0.09	0.09	0.04	0.0
Ca	20	K-series	10.69	10.69	4.16	0.3
Total:			100.00	100.00	100.00	

Gambar Lamp. F1. Hasil EDX Membran yang Belum Digunakan Titik 1

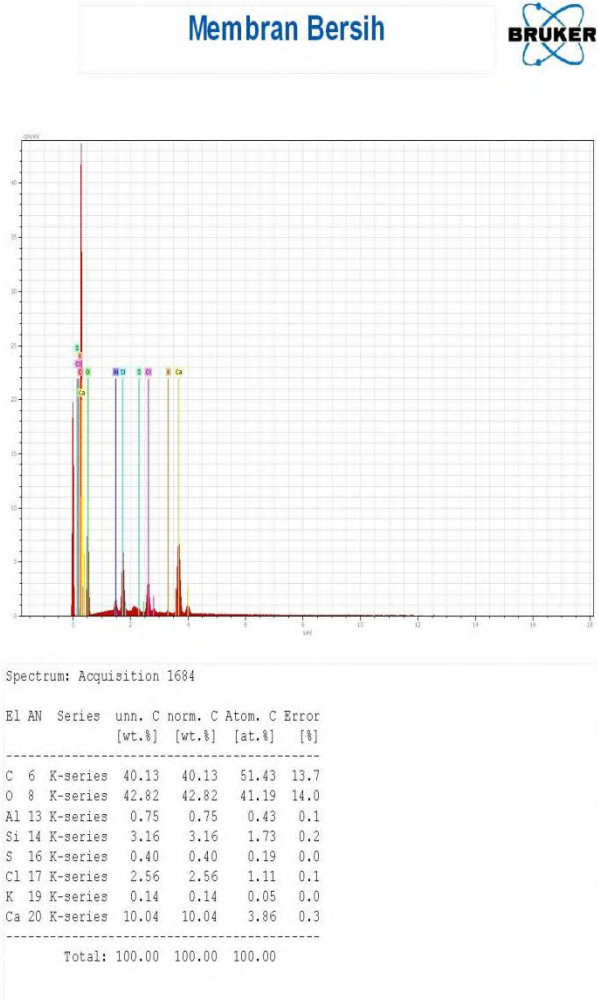
Membran Bersih



Spectrum: Acquisition 1673

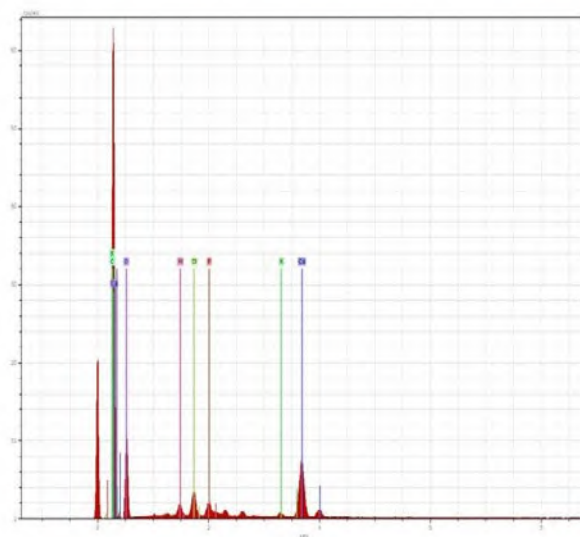
El	AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
C	6	K-series	37.98	37.98	49.35	13.1
O	8	K-series	43.93	43.93	42.85	14.3
Al	13	K-series	0.51	0.51	0.29	0.1
Si	14	K-series	2.37	2.37	1.32	0.1
S	16	K-series	1.06	1.06	0.52	0.1
Cl	17	K-series	3.36	3.36	1.48	0.1
K	19	K-series	0.09	0.09	0.04	0.0
Ca	20	K-series	10.69	10.69	4.16	0.3
Total:			100.00	100.00	100.00	

Gambar Lamp. F2. Hasil EDX Membran yang Belum Digunakan Titik 2



Gambar Lamp. F3. Hasil EDX Membran yang Belum Digunakan Titik 3

Membran Rumah Makan

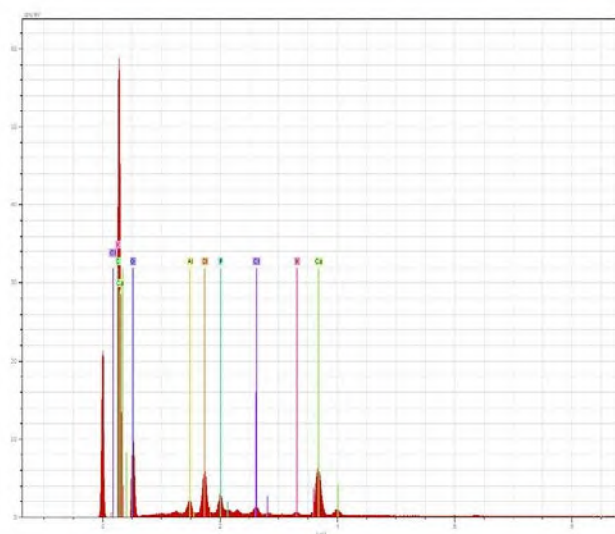


Spectrum: Acquisition 1680

El	AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
C	6	K-series	42.75	42.75	54.09	13.9
O	8	K-series	41.52	41.52	39.43	13.5
Al	13	K-series	0.64	0.64	0.36	0.1
Si	14	K-series	1.40	1.40	0.76	0.1
P	15	K-series	1.48	1.48	0.72	0.1
K	19	K-series	0.53	0.53	0.21	0.0
Ca	20	K-series	11.68	11.68	4.43	0.4
Total:			100.00	100.00	100.00	

Gambar Lamp. F4. Hasil EDX Membran yang Sudah Digunakan Titik 1

Membran Rumah Makan

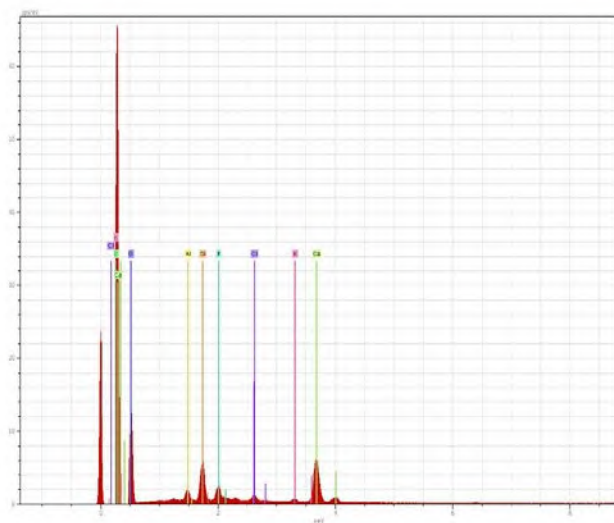


Spectrum: Acquisition 1682

El	AN	Series	un. C	norm. C	Aton. C	Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
C	6	K-series	43.89	43.89	55.10	14.7
O	8	K-series	40.31	40.31	37.99	13.2
Al	13	K-series	1.10	1.10	0.61	0.1
Si	14	K-series	2.95	2.95	1.59	0.2
P	15	K-series	2.24	2.24	1.09	0.1
Cl	17	K-series	0.81	0.81	0.34	0.1
K	19	K-series	0.33	0.33	0.13	0.0
Ca	20	K-series	8.37	8.37	3.15	0.3
Total:			100.00	100.00	100.00	

Gambar Lamp. F5. Hasil EDX Membran yang Sudah Digunakan Titik 2

Membran Rumah Makan



Spectrum: Acquisition 1683

El	AN	Series	unn. C	norm. C	Aton. C	Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
C	6	K-series	42.61	42.61	53.52	14.3
O	8	K-series	42.35	42.35	39.93	13.7
Al	13	K-series	0.94	0.94	0.52	0.1
Si	14	K-series	2.80	2.80	1.51	0.1
P	15	K-series	2.05	2.05	1.00	0.1
Cl	17	K-series	0.75	0.75	0.32	0.1
K	19	K-series	0.36	0.36	0.14	0.0
Ca	20	K-series	8.14	8.14	3.06	0.3
Total:			100.00	100.00	100.00	

Gambar Lamp. F6. Hasil EDX Membran yang Sudah Digunakan Titik 3